

# **AVALIAÇÃO DO RISCO DE DESENVOLVIMENTO DE BOLORES SIMULAÇÃO NUMÉRICA**

**PEDRO NUNO DA SILVA SALES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Eva Barreira

---

Coorientador: Ricardo Almeida

JANEIRO DE 2016

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Avós

*O homem que não comete erros geralmente não faz nada.*

*Phelps , E.J.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, não podendo deixar de dirigir com especial ênfase este agradecimento:

Ao meu orientador e coorientador por todo o empenho, dedicação e disponibilidade.

Aos meus pais e a toda a família que sempre me apoiaram.

Aos meus amigos e à Patrícia pelo apoio e paciência.



## **RESUMO**

A importância da qualidade do ar interior é, cada vez mais, uma preocupação de toda a comunidade científica e do público em geral, visto que o elevado tempo de exposição ao ar interior pode causar o aparecimento de problemas de saúde, tais como, infeções e o agravamento de doenças. A relação dos fatores ambientais que originam o desenvolvimento de contaminantes microbiológicos, como fungos, é um aspeto fundamental a ter em conta. Uma análise relativa aos parâmetros ambientais que estão na origem de bolors em edifícios pode minimizar o seu desenvolvimento.

Neste trabalho foi efetuada uma síntese dos modelos de previsão existentes para o desenvolvimento de bolors, tendo sido escolhidos dois modelos, o modelo isopleta e o modelo bio higrotérmico. Foram realizadas simulações para a previsão do desenvolvimento de bolors a partir do programa de cálculo automático WUFI-Bio (que tem como base os dois modelos adotados). As simulações foram realizadas para diferentes materiais utilizados como revestimento interior, para soluções construtivas de fachadas de edifícios com e sem isolamento térmico. O intuito das simulações foi o desenvolvimento de mapas de risco para Portugal Continental, relativamente ao desenvolvimento de fungos.

Após a análise, foi possível concluir que o desenvolvimento de fungos em materiais utilizados como revestimento interior de fachadas de edifícios depende, maioritariamente, da categoria de substrato que lhes é atribuída. Os parâmetros exteriores que têm maior influência para o desenvolvimento de fungos são a temperatura e a humidade relativa. A presença de isolamento térmico, em materiais pertencentes a substratos de diferentes categorias, reduz o crescimento de fungos nos revestimentos interiores de forma equitativa (quando analisados para o mesmo clima e solução construtiva). O efeito do isolamento térmico é mais relevante para climas mais desfavoráveis (temperatura reduzida e humidade relativa elevada exteriores).

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelos de previsão, WUFI-Bio, clima, soluções construtivas, mapas de risco.





## **ABSTRACT**

The importance of indoor air quality is increasingly a concern of the whole scientific community and the public in general, as the high indoor air exposure time can cause the onset of health problems, such as infections and aggravation of diseases. The ratio of the environmental factors which cause the development of microbiological contaminants such as molds, is a fundamental aspect to be taken into account. An analysis for the environmental parameters that are the source of molds in buildings can minimize their development.

This work was carried out a synthesis of the existing prediction models for fungal growth. I chosed two models, the isopleth model and transient biohygrothermal model. The simulations were performed to predict the growth of molds from the computer program WUFI-Bio (which is based on the two models adopted). The simulations were performed for different materials, used as lining for constructive solutions of buildings with and without thermal insulation. The aim of the simulations was to develop risk maps for Portugal, about the development of molds.

After this analysis, it was concluded that the development of molds in materials used as inner lining of buildings depends, mainly, of the substrate category that is assigned to them. The outsider parameters that have the greatest influence on the development of molds are the temperature and relative humidity. The presence of thermal insulation materials in substrates belonging to different categories, reduces mold growth on interior coatings in an equitable manner (when analyzed for the same climate and constructive solution). The purpose of the thermal insulation is most relevant to the most unfavorable climates (low temperature and high humidity outside).

**KEYWORDS:** Forecast models, WUFI-Bio, climate, constructive solutions, risk maps.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
 <b>1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	1
1.3. ESTRUTURA .....	2
 <b>2. PREVISÃO E DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS</b> .....	3
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3
2.2 MODELOS DE PREVISÃO .....	4
2.2.1 IEA-ANEXO 14 .....	4
2.2.2 ÍNDICES DE CRESCIMENTO DE FUNGOS JOHANSSON .....	4
2.2.3 TEMPO DE HUMIDADE (TIME OF WETNESS) .....	5
2.2.4 ÍNDICE FÚNGICO .....	6
2.2.5 MODELO VTT .....	7
2.2.6 MODELO VTT ADAPTADO .....	8
2.2.7 MODELO ISOPLETA .....	9
2.2.8 MODELO BIO HIGROTÉRMICO .....	9
2.3 SELEÇÃO DE FUNGOS E SUA DISTRIBUIÇÃO EM CLASSES PERIGOSAS .....	9
2.4 MÉTODOS MATEMÁTICOS .....	10
2.4.1 MODELO ISOPLETA .....	10
2.4.1.1 Introdução .....	10
2.4.1.2 Menor isopleta para fungos (LIM) .....	11
2.4.1.3 Sistema isopleta para meio de cultura ideal .....	12
2.4.1.4 Sistema isopleta para o crescimento micelial .....	13
2.4.1.5 Sistema isopleta para formação de fungos em materiais de construção .....	16
2.4.1.6 Crescimento micelial para substratos específicos em sistemas isopletas .....	17
2.4.2 MODELO BIO HIGROTÉRMICO .....	18
2.4.2.1 Ideia modelo .....	18

2.4.2.2 Pressupostos do modelo .....	20
2.4.2.3 Modelagem dos esporos do fungo .....	20
<b>2.5 DESCRIÇÃO DO MODELO WUFI-Bio.....</b>	<b>24</b>

### **3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....**

27

<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
-----------------------------	-----------

<b>3.2 ANÁLISE DAS DIFERENTES COMBINAÇÕES DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA.....</b>	<b>28</b>
---	-----------

## **4. RISCO DE DESENVOLVIMENTO DE BOLORES EM PORTUGAL CONTINENTAL .....**

33

<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
-----------------------------	-----------

4.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	33
------------------------------------	----

4.1.2 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS BASE .....	34
--	----

<b>4.2 MAPAS DE RISCO PARA PORTUGAL CONTINENTAL .....</b>	<b>35</b>
---	-----------

4.2.1 CRESCIMENTO ACUMULADO .....	35
-----------------------------------	----

4.2.2 SUBSTRATO DE CATEGORIA I .....	37
--------------------------------------	----

4.2.2.1 Placa de gesso cartonado .....	38
--	----

4.2.2.2 Painel de fibra de madeira (MDF) .....	39
--	----

4.2.2.3 Papel de parede em vinil .....	40
--	----

4.2.3 SUBSTRATO DE CATEGORIA II .....	41
---------------------------------------	----

4.2.3.1 Reboco à base de cal .....	41
------------------------------------	----

4.2.3.2 Reboco à base de gesso .....	42
--------------------------------------	----

<b>4.3 CAPITAIS DE DISTRITO COM MAIOR E MENOR RISCO DE DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS .....</b>	<b>43</b>
--	-----------

## **5. CONCLUSÕES .....**

49

<b>5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>49</b>
--------------------------------------	-----------

<b>5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>50</b>
---	-----------

## **Referências Bibliográficas .....**

51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Fungos comuns em habitações. ....	3
Fig. 2 - Funções temperatura e humidade relativa, juntamente com as isopletas calculadas a partir destas curvas. ....	5
Fig. 3 - Curvas padrão.....	7
Fig. 4 - Isopleta para o crescimento micelial de várias espécies de fungos consideradas no modelo, e a isopleta mais baixa para fungos (LIM). .....	12
Fig. 5 - Sistemas Isopletas para o crescimento micelial dos fungos em dependência da temperatura e da humidade relativa. Os números nas isolinhas representam as taxas de crescimento em mm/d. .....	13
Fig. 6 - Sistema Isopleta generalizado para o crescimento micelial, válido para todos os fungos. A posição mais baixa da isopleta para fungos (LIM) é tomada a partir da Figura 4 e representa o limite mais baixo da atividade biológica de uma classe perigosa. O número indicado em mm / d representa o crescimento esperado. ....	14
Fig. 7 - Taxas de crescimento de vários fungos em dependência da temperatura. ....	15
Fig. 8 - Taxas de crescimento de três fungos xerófilos, dependendo da humidade relativa num meio de cultura de glucose e frutose a 25 °C. ....	15
Fig. 9 - Diagrama esquemático de como gerar os isopletas para projetar as taxas de crescimento dependentes da temperatura e humidade medidos (figuras 7 e 8) para um sistema isopleta para o crescimento micelial. ....	16
Fig. 10 - Sistema isopleta geral para o crescimento de micélio, válido para todos os fungos. As indicações em mm / d representam o crescimento micelial. Abaixo da LIMmat, não há nenhuma atividade biológica esperada em materiais de construção que pertençam ao respetivo grupo. ....	18
Fig. 11 - Diagrama esquemático da curva do crescimento de uma cultura de fungos. ....	19
Fig. 12 - Diagrama esquemático da ideia modelo para processos de crescimento dependentes do substrato na fase do crescimento lento inicial, na fase de aceleração e na fase de crescimento exponencial (Figura 11) de fungos. ....	19
Fig. 13 - Vista esquemática (comparável) de um esporo. ....	21
Fig. 14 - Função de armazenamento de humidade para descrever um modelo de esporos. ....	22
Fig. 15 - Espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor sd) de um modelo de esporos aplicado para o septo de esporos utilizado no modelo bio higrotérmico, convertido para a escala específica ....	23
Fig. 16 - Introdução de dados no programa WUFI-Bio “Inputs”.....	24
Fig. 17 - Introdução de dados no programa WUFI-Bio “Climate”. ....	25
Fig. 18 - Resultados obtidos no programa WUFI-bio “Results”. ....	25
Fig. 19 - Combinação A (20°C; 80%). ....	29

Fig. 20 - Combinação B (30°C; 80%).	29
Fig. 21 – Combinação C (10°C e 30°C; 80%).	29
Fig. 22 – Combinação D (20°C e 30°C; 80%).	30
Fig. 23 - Combinação E (20°C e 30°C; 60%).	30
Fig. 24- Combinação F (20°C e 30°C; 80%).	30
Fig. 25 - Combinação G (20°C; 60% e 80%).	31
Fig. 26 - Combinação H (30°C; 60% e 80%).	31
Fig. 27 - Combinação I (30°C; 60%).	32
Fig. 28 - Soluções construtivas utilizadas como base.	35
Fig. 29 - Crescimento acumulado de fungos para as capitais de distrito de Portugal Continental.	36
Fig. 30 - Soluções construtivas com placa de gesso cartonado como revestimento interior.	38
Fig. 31 - Mapas de risco para a solução com placa de gesso cartonado como revestimento interior.	38
Fig. 32 - Soluções construtivas com painel de fibra de madeira (MDF) como revestimento interior.	39
Fig. 33 - Mapas de risco para a solução com painel de fibra de madeira (MDF) como revestimento interior.	39
Fig. 34 - Soluções construtivas com papel de parede em vinil como revestimento interior.	40
Fig. 35 - Mapas de risco para a solução com papel de parede em vinil como revestimento interior.	40
Fig. 36 - Soluções construtivas com reboco à base de cal como revestimento interior.	41
Fig. 37 - Mapas de risco para a solução com reboco à base de cal como revestimento interior.	42
Fig. 38 - Soluções construtivas com reboco à base de gesso como revestimento interior.	42
Fig. 39 - Mapas de risco para a solução com reboco à base de gesso como revestimento interior.	43
Fig. 40 - Parâmetros exteriores para os distritos de Faro e da Guarda.	44
Fig. 41 – Parâmetros exteriores para os distritos de Faro e da Guarda.	44
Fig. 42 - Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em placa de gesso cartonado para os distritos de Faro e da Guarda.	45
Fig. 43 - Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em painel de fibra de madeira (MDF) para os distritos de Faro e da Guarda.	45
Fig. 44 - Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em papel de parede em vinil para os distritos de Faro e da Guarda.	46
Fig. 45 - Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em reboco à base de cal para os distritos de Faro e da Guarda.	46
Fig. 46 - Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em reboco à base de gesso para os distritos de Faro e da Guarda.	47
Fig. 47 - Crescimento de fungos para o distrito da Guarda.	47
Fig. 48 - Crescimento de fungos para o distrito de Faro.	48

Fig. 49 - Crescimento de fungos (mm).....	48
---	----

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – Escala de classificação de acordo com a área de cobertura.....	6
Tabela 2 - Classificação do índice de fungos, juntamente com uma atualização baseada em novas experiências (negrito). .....	8
Tabela 3 - Medidas necessárias para gerar sistemas isopletras estacionários para a previsão do crescimento de fungos.....	10
Tabela 4 - Atribuição de diferentes materiais para as categorias de substratos. ....	11
Tabela 5 - Parâmetros geométricos do esporo modelo necessários para o modelo bio higrotérmico em comparação com o esporo natural.....	22
Tabela 6 - Combinações de temperatura e humidade relativa para diferentes períodos de tempo nos substratos em estudo. ....	28
Tabela 7 - Dados dos materiais das soluções base. ....	34
Tabela 8 - Crescimento acumulado de fungos (mm) para os materiais representantes dos substratos de categoria I e II .....	35
Tabela 9 - Dados dos materiais representantes do substrato de categoria I. ....	37
Tabela 10 - Dados dos materiais representantes do substrato de categoria II. ....	41



## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

fHR - função humidade relativa

fr - função de recuperação

fT - função temperatura

HR - humidade relativa (%)

HRcrit - humidade relativa crítica (%)

HRt - humidade relativa limiar (%)

I - índice de crescimento de fungos

k – fator que define a taxa de crescimento de fungos

M - índice de fúngico

ru – unidade de resposta de fungos

T - temperatura (°C)

t - tempo (horas)

Te - temperatura exterior (°C)

TH - teor de humidade ( $kg/m^3$ )

Ti - temperatura interior (°C)

TOW - time of wetness

Ts,min - temperatura superficial mínima (°C)



# 1

## ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

O desenvolvimento de fungos em edifícios é conhecido como uma das principais causas de problemas interiores de qualidade do ar. Este desenvolvimento pode aumentar o risco de problemas de saúde, tais como sintomas de asma, tosse, e outras infeções respiratórias. Além disso, algumas espécies de fungos produzem mico toxinas que são consideradas tóxicas. Para além disso, existem espécies de fungos que podem causar descoloração e deterioração dos materiais de construção.

Nos últimos anos, a probabilidade da existência de fungos em edifícios aumentou devido a problemas nas construções, tais como uma maior estanquidade ao ar, associada às preocupações com o desempenho energético. O crescimento de fungos em materiais de construção é um fenómeno complexo que envolve várias condições ambientais, incluindo a temperatura, a humidade relativa do ar, a presença de nutrientes e o tempo de exposição. As condições ambientais e os nutrientes estão diretamente relacionados com as propriedades físicas dos materiais de construção. Assim, a seleção adequada de materiais de construção pode ser muito importante para a prevenção de efeitos adversos para a saúde devido ao desenvolvimento de fungos.

Deste modo, a previsão do risco de desenvolvimento de fungos em edifícios é importante não só para garantir um ambiente saudável mas também para minimizar os danos sociais e económicos associados a este fenómeno.

### 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho consiste na avaliação e previsão do desenvolvimento de bolores, para as capitais de distrito de Portugal Continental, em materiais utilizados como revestimento interior em fachadas de edifícios, a partir de programas de cálculo automático.

Deste modo foram definidos os seguintes objetivos:

- Levantamento e pesquisa dos modelos de previsão existentes;
- Descrição detalhada dos modelos e programa de cálculo utilizados, uma vez que são a base do todo o trabalho;
- Realização de uma análise de sensibilidade a fim de se perceber o modo de funcionamento do programa de cálculo automático (adotado), os parâmetros nos quais este assenta, e de que modo é que estes parâmetros e a suas relações influenciam o desenvolvimento de fungos;

- Avaliar o desenvolvimento de bolors para Portugal Continental, de modo a desenvolverem-se mapas de risco para alguns materiais utilizados para revestimento interior;
- Análise mais pormenorizada para as capitais de distrito nas quais se verifica maior e menor desenvolvimento de fungos.

### 1.3 ESTRUTURA

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

Capítulo 1 – Enquadramento e objetivos do trabalho. Apresentam-se os objetivos do trabalho, fazendo-se uma abordagem inicial relativamente ao desenvolvimento de fungos nos edifícios, mais precisamente aos problemas de saúde, sociais e económicos que a sua presença poderá causar.

Capítulo 2 – Estado de arte. Faz-se uma breve análise dos problemas provocados pelos fungos e dos modelos existentes para a sua previsão, dando-se maior relevância aos métodos utilizados neste trabalho. Refere-se, então, os modelos isopleta e bio higrotérmico, propostos por Sedlbauer. Descrevem-se, também, os procedimentos para o funcionamento do programa de cálculo utilizado, o WUFI-Bio, e o método utilizado para prever o desenvolvimento de fungos.

Capítulo 3 – Análise de sensibilidade. Realizam-se simulações de carácter exploratório com o programa de cálculo WUFI-Bio. O objetivo é variar os parâmetros de entrada do programa e, a partir daí, tirar conclusões quanto aos parâmetros com maior relevância face aos *outputs*, que serão fundamentais na análise apresentada no capítulo 4.

Capítulo 4 - Análise do risco de desenvolvimento de bolors em Portugal Continental. Apresentam-se os casos de estudo, as condições envolventes (interiores e exteriores), os parâmetros tidos em conta para realizar a análise e os resultados. Estes resultados apresentam-se sob a forma de mapas de risco e fazem-se análises singulares e comparativas relativamente às diferentes soluções construtivas para as capitais de distrito de Portugal Continental.

Capítulo 5 – Conclusão. Apresentam-se as conclusões finais do trabalho desenvolvido e propostas de trabalho futuro.

## 2

## PREVISÃO DE DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A proliferação de bolors no interior de habitações pode provocar graves consequências a nível da saúde e do conforto dos que aí residem. As mico toxinas quando são inaladas em excesso podem causar graves problemas de saúde, maioritariamente a pessoas com alergias, asma ou outras infeções respiratórias.

Na generalidade, os bolors para se desenvolverem no interior de edifícios necessitam de uma combinação favorável dos seguintes fatores:

- Fixação de esporos de fungos;
- Temperaturas favoráveis
- Humidade relativa;
- Nutrientes (substrato);
- Oxigénio.

Na Figura 1 é possível observar alguns exemplos de fungos comuns em habitações.

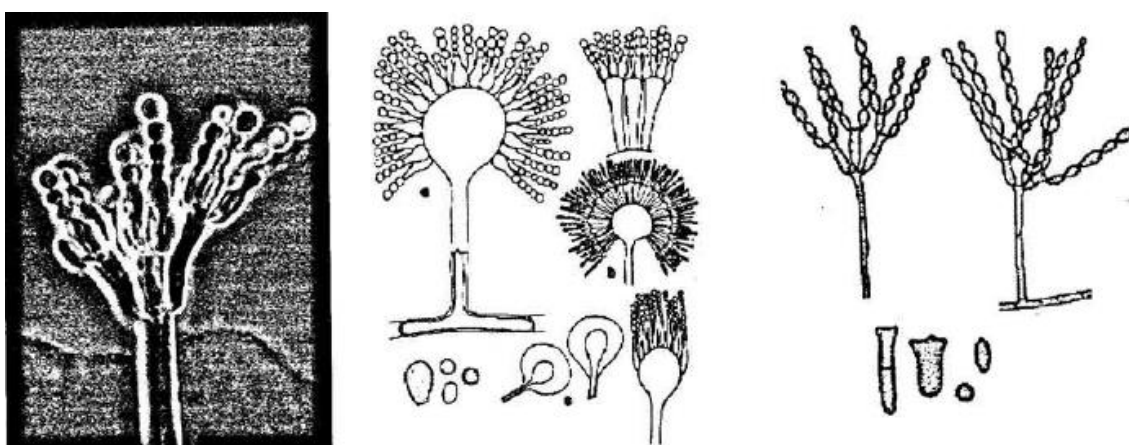


Fig. 1- Fungos comuns em habitações. (a) Penicillium.(b) Aspergillus. (c) Cladosporium (SPENGLER, 1991)

Durante muito tempo prevaleceu a ideia de que o desenvolvimento de fungos só era possível na ocorrência de condensações superficiais. No entanto, estudos desenvolvidos mais tarde descobriram que não era necessário a ocorrência de condensações para que o desenvolvimento de fungos fosse possível (exceto no caso de fungos hidrófilos).

## 2.2. MODELOS DE PREVISÃO

### 2.2.1. IEA-ANEXO 14

Para avaliar o risco de formação de fungos, o IEA-Anexo 14 (IEA-Annex 14, 1990) propõe um teor de humidade relativa superficial dependente do tempo decorrido. Esta humidade relativa é definida com base na menor isopleta para o fungo *Aspergillus Versicolor*, resultando num teor de humidade relativa igual a 80%, 89% ou 100% para, respetivamente, um tempo de exposição de 1 mês, 1 semana e 1 dia. Num passo seguinte, esta proposta é simplificada para a relação de temperatura:

$$\tau = \frac{T_{s,min} - T_e}{T_i - T_e} \geq 0.7 \quad (2.1)$$

Com  $T_{s,min}$  (°C), a temperatura mínima da superfície interior, e  $T_i$  e  $T_e$  a temperatura no interior e no exterior (°C), respetivamente. Uma relação de temperatura de 0,7 é proposta como critério, relacionada com um risco de fungos aceitável de 5%. Uma relação inferior apresenta um risco inaceitável de fungos.

### 2.2.2. ÍNDICES DE CRESCIMENTO DE FUNGOS DE JOHANSSON

Johansson (Johansson et al, 2010) estudou três índices de crescimento de fungos, com base em medições de fachadas com diferentes inércias térmicas, cor e orientação. Para investigar o crescimento de fungos interior, o índice  $I_1$ , que expressa a fração de tempo em que a humidade relativa é igual ou superior ao limiar de humidade relativa  $HR_t$ , é sugerido:

$$I_1 = \frac{\int_{\tau=t_0}^{t_1} f(\tau) d\tau}{t_1 - t_0}, \quad f = \begin{cases} 1 \rightarrow RH(\tau) \geq RH_t \\ 0 \rightarrow RH(\tau) < RH_t \end{cases} \quad (2.2)$$

Onde  $HR_t$  é frequentemente fixada em 80%. Como  $I_1$  despreza a influência da temperatura, este índice não é significativo para a investigação de construções exteriores. A influência da temperatura é implementada no índice  $I_2$ :

$$I_2 = \frac{\int_{\tau=t_0}^{t_1} f_T(\tau) f_{RH}(\tau) d\tau}{t_1 - t_0} \quad (2.3)$$

Com a função temperatura ( $f_T$ ) e função a humidade relativa ( $f_{RH}$ ) indicadas na Fig. 2. Para ser considerado um devido atraso em condições desfavoráveis, uma função de recuperação ( $f_r$ ), é adicionada ao índice de  $I_2$ :

$$I_3 = \frac{\int_{\tau=t_0}^{t_1} f_T(\tau)f_T(\tau)f_{RH}(\tau)d\tau}{t_1 - t_0},$$

$$f_T = \begin{cases} 0 \rightarrow f_T \times f_{RH} = 0 \text{ foi verdade durante a última tr} \\ 1 \rightarrow \text{caso contrário} \end{cases}$$

(2.4)

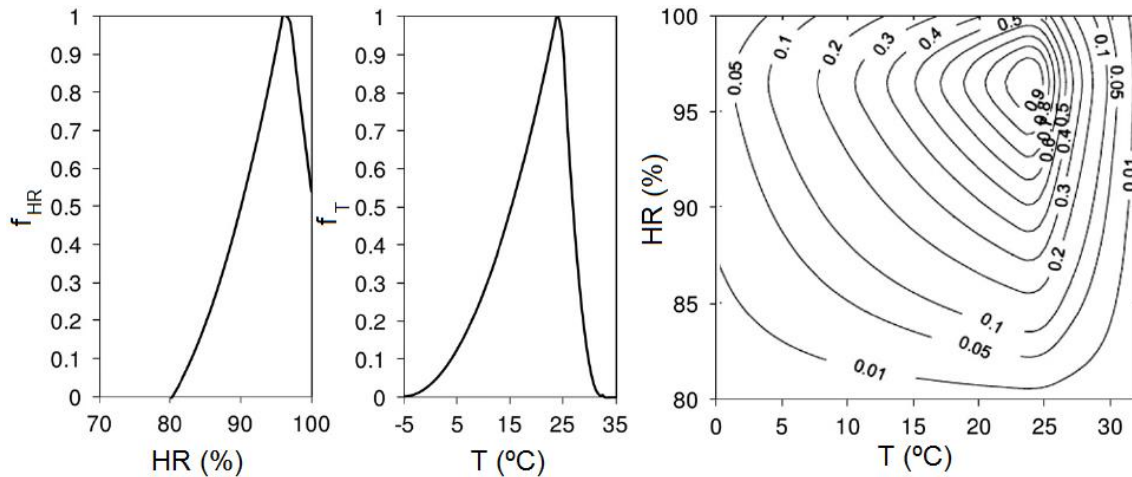


Fig. 2 – Funções temperatura (T) e humidade relativa (HR), juntamente com as isopletas calculadas a partir destas curvas (adaptado de Johansson et al, 2010)

### 2.2.3. TEMPO DE HUMIDADE (TIME OF WETNESS)

Adan (Adan, 1994) realizou uma série de experiências para estudar a resposta do volume fúngico ou teor de humidade em caso de humidade relativa superficial. Uma das formas de considerar a influência do regime variável foi proposta através da consideração do fator TOW (Time Of Wetness), que pretende definir um limite, no tempo, a partir do qual há maior probabilidade para o desenvolvimento de bolores. Ele observou um aumento distinto no volume da célula no caso da humidade relativa aumentar, o que indica que não podem ser desprezados curtos períodos de elevada humidade relativa na análise de fungos. Para indicar a disponibilidade de água em condições superficiais, ele introduziu o tempo de humidade (TOW), dada por:

$$TOW = \frac{\text{Ciclo de período húmido } (HR \geq 80)}{\text{Ciclo de período (seco + húmido)}}$$

(2.5)

O valor de TOW, que varia entre 0 e 1, define a percentagem de tempo que a humidade relativa acima da temperatura limite. Assim, o crescimento de bolores é fraco se TOW for inferior a 0,5 e forte se for superior a 0,5. A classificação média é definida como na norma BS3900 (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Escala de classificação de acordo com a área de cobertura (adaptado de Adan, 1994)

Classificação	Área de cobertura
0	Sem crescimento de fungos
1	Cobertura $\leq 1\%$
2	$1\% < \text{Cobertura} \leq 10\%$
3	$10\% < \text{Cobertura} \leq 30\%$
4	$30\% < \text{Cobertura} \leq 70\%$
5	$70\% < \text{Cobertura}$

#### 2.2.4. ÍNDICE FÚNGICO

O índice de fungos, definido por Abe (Abe, 1996), indica a capacidade ambiental para o desenvolvimento de fungos. Para medir o índice de fungos, um detetor de fungos é colocado no ambiente investigado por um determinado período. Nas primeiras medições foi usado Eurotium Herbariorum como um sensor de fungos. Pesquisas posteriores indicaram que *Penicillio* ou *Aspergillus* ou *Alternaria* podem ser adequados como um sensor de fungos para locais com humidade relativa baixa ou extremamente elevada, respetivamente. Numa primeira etapa do método de medição, a unidade de resposta de fungos (ru) durante o período de exposição (que indica a resposta de crescimento fúngico) é determinada com base no comprimento da hifa. Para fazê-lo, é utilizada a curva padrão determinada na Figura 3. A última curva é desenvolvida através da substituição da unidade de resposta fúngica (ru), durante o tempo de preparação (h), na curva de crescimento, numa razão 1: 1. Num passo seguinte, o índice fúngico é determinado dividindo-se a unidade de resposta de fungos (ru) pelo período de exposição (semanas). Para fazer o cálculo do possível índice de fungos, Abe desenvolveu, com base em medições realizadas, uma base de dados que contém os valores do índice de fungos para a temperatura especificada e condições de humidade relativa. Assim, o índice de fungos pode ser utilizado como um parâmetro de previsão.



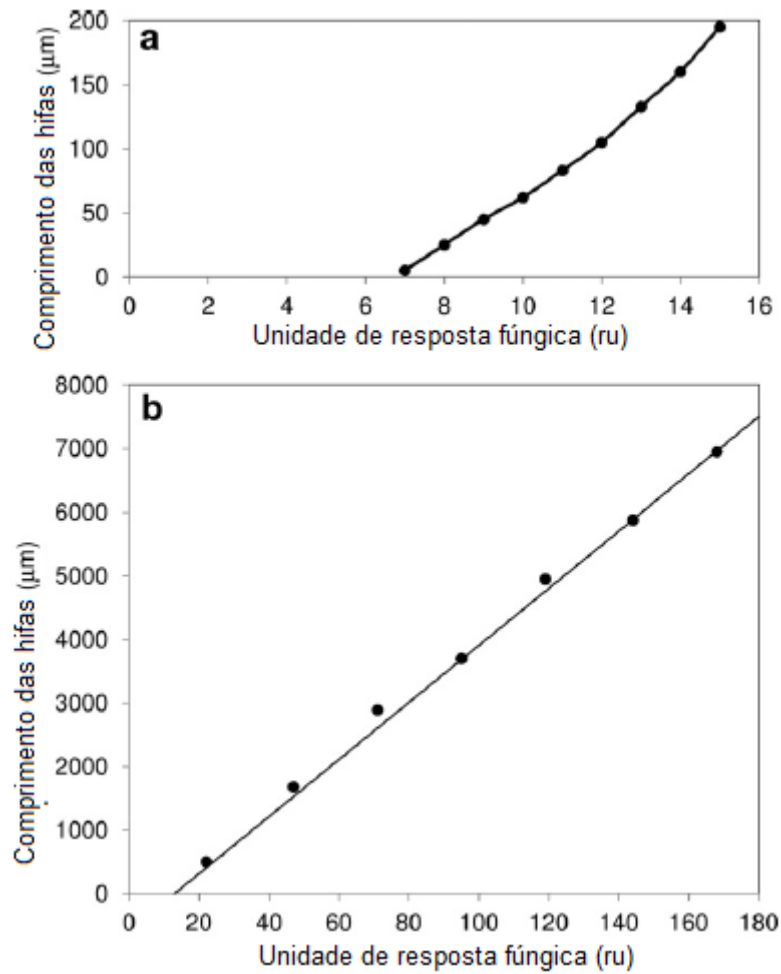


Fig. 3 – Curvas padrão. (a) Comprimento definido pela distância entre os esporos e as pontas das hifas. (b) Comprimento definido pela distância entre os bordos dos esporos e as pontas das hifas (adaptado de Abe, 2006)

#### 2.2.5. MODELO VTT

O modelo VTT é um modelo experimental de previsão de fungos desenvolvido por Hukka e Viitanen (Hukka e Viitanen, 1999), no qual o crescimento é expresso pelo índice de fungos (M). Este último índice varia entre 0 e 6 (Tabela 2) e pode ser utilizado como um critério de concepção.

Tabela 2 – Classificação do índice de fungos, juntamente com uma atualização baseada em novas experiências (negrito) (adaptado de Viitanen et al, 2010)

Índice	Taxa de crescimento	Descrição	
0	Sem crescimento de fungos	Esporos inativos	
1	Pequena quantidade de fungos na superfície	Crescimento inicial	
2	<10% de cobertura de fungos na superfície		
3	Cobertura entre 10-30% de fungos na superfície, <b>ou &lt;50% de cobertura de fungos (microscópio)</b>	Produção de novos esporos	Nível microscópico
4	Cobertura entre 30-70% de fungos na superfície, <b>ou &lt;50% de cobertura de fungos (microscópio)</b>	Crescimento moderado	Visualmente detetável
5	> 70% de cobertura de fungos na superfície	Crescimento elevado	
6	Crescimento de fungos acentuado, cobre quase 100% da superfície	Cobertura em torno de 100%	

Por exemplo, muitas vezes um índice de fungos igual a 1 é definido como o valor máximo tolerável desde que, a partir desse momento, o processo de germinação tenha início. Note-se que, com exceção do índice máximo de 6, a definição dos índices de fungos ajusta-se bem com a definição para a classificação utilizada por Adan (Tabela 1). O modelo VTT é baseado na análise de regressão de um conjunto de dados de medição. Nas medições foram usadas diferentes espécies (envolvidas) de fungos. O teor de humidade das amostras foi definido de modo a atingir o equilíbrio sem qualquer demora. Além disso, o fungo sobre o material foi assumido não ter uma influência sobre o comportamento de humidade do material. Com base nas diferentes medições, a influência da temperatura, humidade relativa superficial, tempo de exposição e períodos de seca estão incluídos no modelo VTT. Um primeiro modelo VTT foi baseado em experiências de laboratório sobre pinheiros e abetos. Neste modelo, uma humidade relativa crítica,  $H_{rcrit}$  (%), pode ser obtida, definida como a mais baixa humidade para o crescimento de fungos se o material for exposto a esta durante um período suficientemente longo. O índice fúngico incremental ou redutor, pode ser calculado através da utilização de uma equação diferencial, na qual podem ser consideradas várias condições de temperatura e humidade relativa. Para pinheiros e abetos a mudança incremental no índice fúngico é dada por:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k_1 k_2}{7 \times t_{M=1}} \quad (2.6)$$

O fator de  $K_1$  define a taxa de crescimento, sob condições favoráveis, com  $t_M = 1$  (semanas) e  $t_M = 3$  (semanas), ou seja, o tempo necessário para atingir  $M = 1$  (início de crescimento) e  $M = 3$  (primeiro aspeto visual de crescimento de fungos depois da fase inicial), respetivamente. Quando  $M$  se aproxima do valor máximo de pico na gama de  $4 < M < 6$ , inclui-se o fator  $K_2$ .

#### 2.2.6. MODELO VTT ADAPTADO

Recentemente, o modelo VTT é expandido para outros materiais de construção (Ojanen et al, 2011). A principal diferença relativamente ao modelo original é verificada a nível microscópico. Uma vez que para alguns materiais, já a este nível, pode ser observada uma cobertura elevada de crescimento de fungos, a classificação do índice de fungos foi atualizada (negrito na Tabela 2).

Para expandir o modelo, o modelo original é atualizado por meio da determinação de novos valores para os fatores na equação de  $dM / dt$ , e isto para os diferentes materiais.

Para se obter estas adaptações, foram realizadas experiências e monitorações laboratoriais de crescimento de fungos, em caso de uma exposição real, para os seguintes materiais: Concreto (tamanho máximo do grão, 8 mm), betão celular, isolamento de poliuretano térmico (PUR, com superfície de papel e com superfície polida), lã de vidro, lã de poliéster e poliestireno expandido (EPS). Uma vez que não é possível investigar todos os materiais de construção, foram desenvolvidas quatro classes de sensibilidade de fungos: muito sensível, sensível, resistência média e resistente.

No novo modelo, o fator  $K1$  é determinado com base no tempo requerido para uma alteração do índice de fungos  $M = 1$  para  $M = 3$ .

#### 2.2.7. MODELO ISOPLETA

Uma vez que a humidade relativa do ar, a temperatura e o tempo de exposição são os principais fatores do aparecimento de fungos, a relação entre esses fatores e o risco de fungos é frequentemente expressa por isopletras. Estas curvas separam as condições para o crescimento de fungos (temperatura e humidade relativa). Os modelos mais simples apenas fornecem a curva de estado limite, enquanto os modelos isopletras mais avançados subdividem em tempo a germinação e taxa de crescimento. As curvas isopletras são a base para o desenvolvimento de modelos de fungos. Considerando que os modelos de fungos descritos nas seções anteriores sugerem uma abordagem isopletra deduzida, outros modelos sugerem uma utilização direta das isopletras.

#### 2.2.8. MODELO BIO HIGROTÉRMICO

Para fazer uma previsão mais precisa do possível risco de desenvolvimento de fungos, Sedlbauer estendeu o seu modelo isopletra com o modelo bio higrotérmico. Neste modelo, o equilíbrio de um esporo, o qual tem um certo potencial osmótico, e que pode, conseqüentemente, absorver água do ambiente dependendo das condições envolventes de humidade, é calculado. Para calcular este processo, o interior de esporos é caracterizado por uma curva de retenção de humidade e a parede do esporo por um valor  $s_d$  dependente da humidade. O esporo é suposto ter germinado quando um certo teor de humidade - o teor de humidade crítico - é atingido. A partir desse momento os processos metabólicos e o crescimento de fungos poderão começar. O teor de humidade crítico pode ser determinado com base na curva de retenção de humidade do esporo e a humidade relativa crítica encontrada na curva LIM de germinação. O tipo de substrato pode ser tido em conta, utilizando o substrato dependente do sistema isopletra na determinação do teor de humidade crítico. Através da utilização deste modelo, pode ser determinado o tempo necessário até que a germinação e o crescimento de fungos (mm / dia) ocorra. As propriedades do material no modelo de esporos são desenvolvidas com base em propriedades de bactérias que são ligeiramente adaptadas. Esta adaptação é realizada ajustando as propriedades do material, de modo a que o tempo médio de germinação calculado seja igual ao tempo de germinação medido no caso de condições constantes (que pode ser encontrado nas isopletras).

### 2.3. SELEÇÃO DE FUNGOS E SUA DIVISÃO EM CLASSES PERIGOSAS

Os fungos que ocorrem em edifícios representam um perigo para a saúde e os danos são relevantes. Assim sendo, distinguem-se 3 classes perigosas:

- **A:** Fungos ou os seus produtos metabólicos são altamente patogénicos; a sua ocorrência em habitações não é permitida.
- **B:** Fungos ou os seus produtos metabólicos são patogénicos quando expostos durante um longo período de tempo. Estes podem causar reações alérgicas.

- **C:** Fungo não é perigoso para a saúde. No entanto o seu aparecimento pode causar danos económicos.

## 2.4. MÉTODOS MATEMÁTICOS

Descrevem-se, de seguida, dois modelos, que são diretamente relacionados, e que serão utilizados no presente trabalho para prever a formação de fungos:

- **Modelo Isopleta:** Determinação do tempo de germinação de esporos e do crescimento micelial a partir dos chamados sistemas isopletas, que são válidos para diversas classes perigosas e categorias de substratos. Este permite considerar a influência do substrato no desenvolvimento de fungos. Um sistema isopleta descreve o tempo de germinação dos esporos ou o crescimento micelial em função da temperatura e da humidade relativa do ar.
- **Modelo bio higrotérmico:** Cálculo do equilíbrio de hidratação de um esporo, por meio de um método de cálculo bio higrotérmico. Com este método podem-se determinar quais as condições climáticas superficiais que permitem a germinação de esporos.

### 2.4.1. MODELO ISOPLETA

#### 2.4.1.1. Introdução

O modelo permite a comparação entre as condições higrotérmicas e as condições de crescimento para a germinação de esporos e para o crescimento micelial. Os chamados sistemas isopletas são utilizados com esse objetivo, descrevendo tempos de germinação e taxas de crescimento do esporo na dependência da temperatura e humidade relativa. Se for prevista a formação do fungo em diferentes substratos, é necessário desenvolver novos tipos de sistemas isopletas. Esses novos sistemas devem conter as condições de crescimento dos fungos que ocorrem em edifícios. Apenas em materiais de construção é possível realizar estas medições.

Para gerar sistemas isopletas para substratos diferentes (por exemplo, materiais de construção), presume-se que os sistemas válidos para meios de cultura ideal consideram sempre as menores humidades relativas necessárias que permitem o crescimento do fungo, dependendo da temperatura. Deste modo, apenas parece ser útil transferi-los para uma humidade relativa superior caso exista um substrato mais desfavorável. Os passos necessários para desenvolver um único sistema isopleta estão resumidos na Tabela 3 e são explicados de seguida.

Tabela 3 – Medidas necessárias para gerar sistemas isopletas estacionários para a previsão do crescimento de fungos (adaptado de Sedlbauer, 2001)

Fase	Germinação de esporos		Crescimento micelial	
1	Determinação de curvas LIM sob consideração dos respetivos fungos para as classes de risco A, B / C			
2	Especificação de fungos, comparando o LIM com as isopletas do fungo			
3	Sistemas isopletas para substratos ideais com o significado das isolinhas:			
	Tempo da germinação de esporos		Crescimento por unidade de tempo	
	Fungo representado	Para todos os fungos com base no LIM B / C	Fungo representado	Para todos os fungos com base no LIM B / C
	Aspergillus Versicolor	Determinação de isolinhas (tempos de germinação de esporos) por deslocamento paralelo do LIM B / C	Aspergillus Amstelodami	Determinação de isolinhas (crescimento micelial) pelo deslocamento paralelo do LIM B / C
	4	Geração de sistemas isopletas para substratos específicos		

Contudo, distinguem-se 8 sistemas isoplelas resultantes de duas classes perigosas, duas categorias de substrato, e, cada uma delas, para a germinação de esporos e para o crescimento micelial (contudo, na presente análise, dá-se maior relevância ao crescimento micelial):

- a) Classes de risco B / C (LIM B / C): Esses sistemas referem-se a meios biológicos completos como meios de cultura, formando, deste modo, o limite mais baixo de todos os sistemas isoplelas, na medida em que as condições de crescimento estão em causa, isto é, os menores valores de humidade relativa do ar. Estes são o limite de crescimento para todos fungos que ocorrem em edifícios.
- b) Classe de risco A (LIM A): De forma análoga a a), válida para todos os fungos da única classe de risco.
- c) Substrato de categoria I (LIMmat I): Não se referem ao meio completo, mas a materiais do substrato de categoria I, mencionados na Tabela 4. Podem ser encontrados apenas para fungos da classe de risco B / C, não sendo possível gerar um substrato dependente no sistema isoplela para a classe de risco A. No entanto, o descrito em a) é válido também aqui.
- d) Substrato categoria II (LIMmat II): Análogo a c), só é válido para os materiais pertencentes ao substrato de categoria II.

Tabela 4 - Atribuição de diferentes materiais para as categorias de substratos (adaptado de Sedlbauer, 2001)

Dados das camadas constituintes da superfície			Atribuição de grupo de substrato, dependendo do grau de contaminação (2)	
Categoria do substrato (1)		Tipos representativos	Nada	Grave
0	Meio de cultura ideal	Meio biológico completo	0	0
I	Substratos bio-utilizáveis (3)	Papel de parede, placa de gesso, produtos de construção de matérias-primas facilmente degradáveis, material para juntas permanentemente elásticas	I	I
II	Substratos com estrutura porosa	Gessos, materiais minerais de construção, algumas madeiras, isolantes não pertencentes ao grupo I	II	I

1) Dependendo do grau de contaminação, a classificação pode mudar.

2) O grau de contaminação é dividido em não contaminado ("nada") e severamente contaminado ("grave").

3) Estes substratos podem ter depósitos bio utilizáveis ou são decompostos.

#### 2.4.1.2. Menor Isoplela para Fungos (LIM)

O item 2.4.1.1. descreve como considerar os diferentes critérios ao especificar as condições de crescimento, temperatura e humidade relativa. Assim, torna-se claro que, ao determinar os sistemas isoplelas válidos para todos os fungos, primeiro tem-se de considerar diferentes espécies, uma vez que cada espécie tem o seu isoplela específico. Para excluir a germinação de esporos ou

o crescimento micelial (também em meio completo), geram-se as menores condições de crescimento de todos os fungos conhecidos, obtendo-se, deste modo, o denominado menor isopleta para o fungo. Quando os valores da humidade relativa são inferiores aos da curva não se verifica qualquer atividade biológica.

A especificação das curvas LIM para as classes de risco A e B / C é mostrado na Figura 4 para o crescimento micelial. As linhas individuais baseiam-se nas condições de crescimento de diversos fungos. A temperatura encontra-se aqui considerada dentro de um intervalo entre 0 °C a 30 °C. O LIM significa que nesta linha o tempo de germinação de esporos é, teoricamente, infinitamente grande ou a taxa de crescimento é de 0 mm / d.

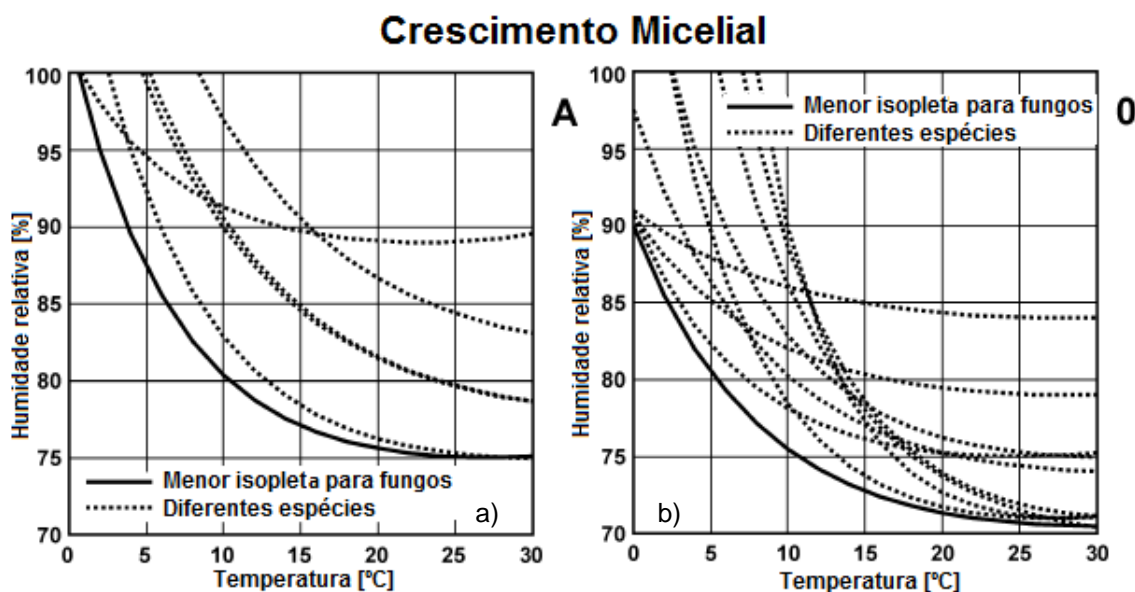


Figura 4 - Isopleta para o crescimento micelial de várias espécies de fungos consideradas no modelo, e a isopleta mais baixa para fungos (LIM).

(a) Fungos da classe de risco A. (b) Fungos da classe de risco B / C (adaptado de Sedlbauer, 2001)

O LIM para a germinação de esporos requer maior % de humidade relativa do que o LIM para o crescimento do micélio, sobretudo, a temperaturas mais baixas. Deste modo, na maior parte dos casos, a germinação de esporos ocorre, apenas, quando o novo crescimento é garantido.

#### 2.4.1.3. Sistema Isopleta para meio de cultura ideal

Um sistema isopleta consiste na curva inferior (LIM), que depende da temperatura e humidade relativa do ar, e de uma família de isolinhas análogas que parametrizam os "tempos de germinação de esporos", se a germinação de esporos estiver prevista, e a "unidade de crescimento por tempo", se o crescimento do micélio estiver descrito. De modo a fazer uma previsão da formação de fungos, é necessário ser capaz de especificar sistemas isopletas que são válidos para todos os fungos de uma classe de risco. Para este fim, tem de se levar a cabo um grande número de passos metodológicos que estão listados na Tabela 3. Depois de gerar as curvas LIM, são definidos os fungos representativos. O fungo *Aspergillus Versicolor* para a classe de risco A e os fungos *Aspergillus Amstelodami*, *Aspergillus Candidus*, *Aspergillus* e *Ruber Wallemia Sebi* para a classe de risco B / C. Os seus sistemas isopletas serão tomados como base para o desenvolvimento de meios de cultura ideal, para o sistema isopleta que é válido para todos os fungos de uma classe de risco.

#### 2.4.1.4. Sistema Isopleta para o crescimento micelial

Após a germinação o fungo começa a crescer, isto se as condições higrotérmicas forem as necessárias. O crescimento pode começar novamente, mesmo após um período de condições climáticas desfavoráveis. As velocidades de crescimento são expressas em mm / d, em dependência da temperatura e humidade relativa, e são mostradas nos sistemas isopletas especiais da Figura 5 para dois *Aspergillus*. As taxas de crescimento, geralmente indicadas em mm, apenas podem ser utilizadas para avaliar o crescimento em componentes de construção em sentido figurativo, de forma que os valores sejam analisados comparativamente.

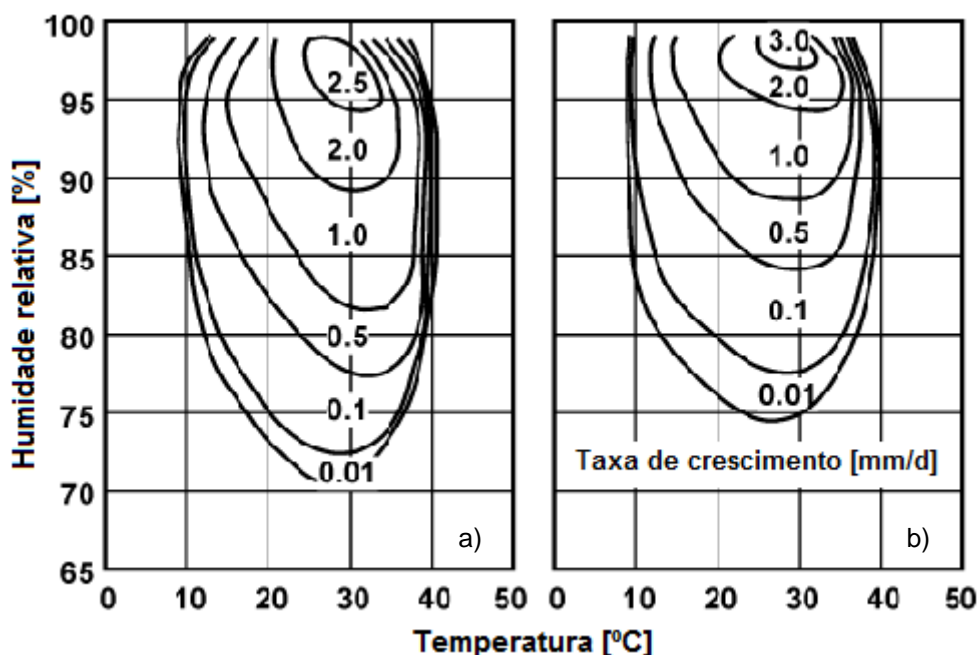


Fig. 5 - Sistemas Isopletas para o crescimento micelial dos fungos em dependência da temperatura e da humidade relativa. Os números nas isolinhas representam as taxas de crescimento em mm/d. (a) Fungo *Aspergillus restrictus*. (b) Fungo *Aspergillus versicolor* (adaptado de Smith e Hill, 1982)

Em contraste com a germinação de esporos, para o crescimento micelial existem vários sistemas de medição de fungos. A Figura 4 apresenta uma curva LIM para o crescimento micelial para ambas as classes de risco. Baseadas no LIM especial, as isolinhas são geradas de uma forma que, para cada condição de temperatura e humidade relativa do ar, a maior taxa de crescimento para todos os fungos é selecionada e considerada. A curva LIM é deslocada para cima mantendo a forma, até que esta atravessasse a isolinha para uma taxa de crescimento especial no seio do sistema isopleta medido para o fungo representativo.

A Figura 6 apresenta os dois sistemas isopletas para as classes de risco A e B / C, que são válidos para a meio de cultura ideal. Estas ilustrações permitem determinar as taxas de crescimento máximas de todos os fungos na dependência das condições higrotérmicas superficiais.

## Crescimento Micelial

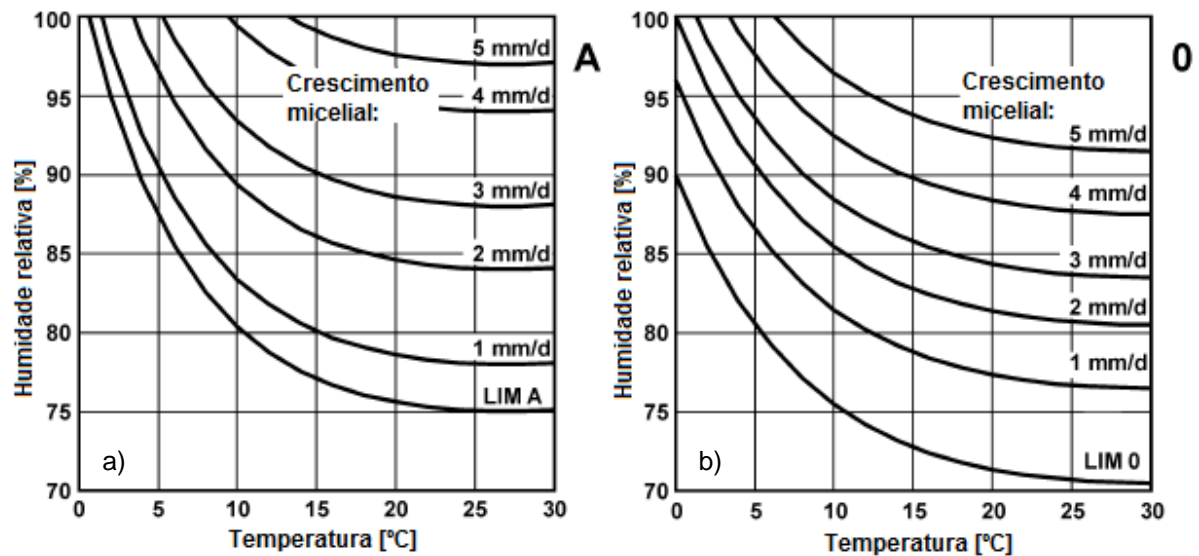


Fig. 6 - Sistema Isopleta generalizado para o crescimento micelial, válido para todos os fungos. A posição mais baixa da isopleta para fungos (LIM) é tomada a partir da Figura 4 e representa o limite mais baixo da atividade biológica de uma classe perigosa. O número indicado em mm / d representa o crescimento esperado. (a) Classe de fungos perigosa A. (b) Classe de fungos perigosa B / C (adaptado de Sedlbauer, 2001)

Uma vez que não existem sistemas isopletas disponíveis para todos os fungos, o método é requerido, pelo qual é possível gerar tais sistemas a partir de dados existentes. Para determinar as isolinhas em tais sistemas isopletas, são definidas taxas de crescimento, apresentadas nas Figuras 7 e 8, de fungos em dependência de temperatura e humidade relativa do ar, respetivamente.



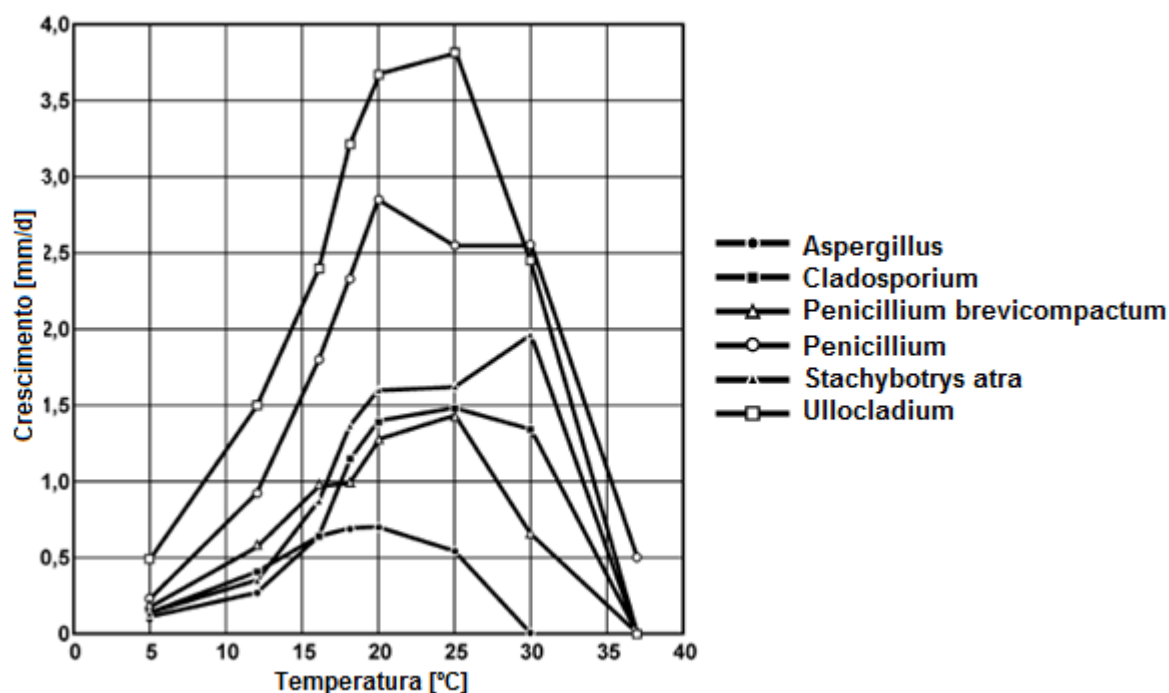


Fig. 7 - Taxas de crescimento de vários fungos em dependência da temperatura (adaptado de Grant et al, 1989)

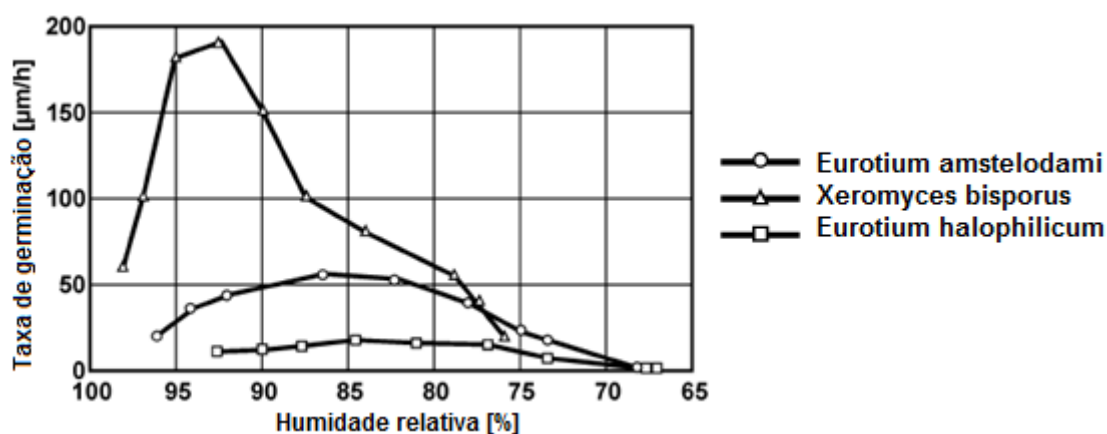


Fig. 8 - Taxas de crescimento de três fungos xerófilos, dependendo da umidade relativa num meio de cultura de glucose e frutose a 25 °C (adaptado de Hocking e Jennings, 1993)

Por meio dessas dependências, os medidores de temperatura e umidade dependentes das taxas de crescimento, são projetados sobre o sistema isopleta; um diagrama esquemático é mostrado na Figura 9. Neste exemplo, uma temperatura de 28 °C e uma umidade relativa de 97% são considerados as condições ótimas para o crescimento do fungo. Do lado esquerdo da Figura 9 pode-se ver a taxa de crescimento a uma temperatura ótima em dependência da umidade relativa. Estes valores são calibrados e desenhados com base na linha isotérmica a 28 °C no sistema isopleta (no canto inferior direito da Figura 9). A atribuição da taxa de crescimento dependente da temperatura e umidade relativa do ar (na parte superior direita da Figura 9), é inserida na linha de umidade relativa do ar (por exemplo, em 97% na parte inferior direita da Figura 9). Fazendo a ligação destes 3 pontos com a mesma taxa de crescimento por meio de uma função cosh, obtém-

se a correspondente isolinha no sistema isopleta para o crescimento micelial, no canto inferior direito na Figura 9.

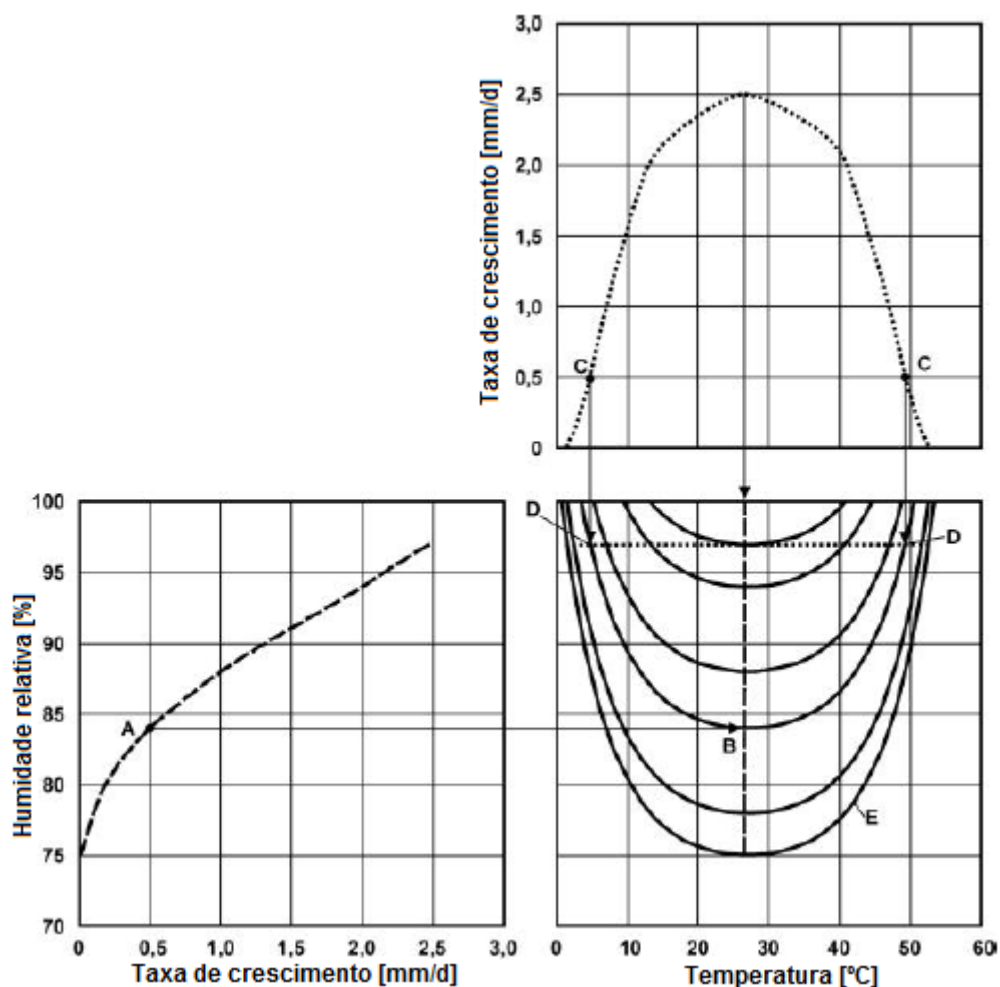


Fig. 9 - Diagrama esquemático de como gerar os isopletas para projetar as taxas de crescimento dependentes da temperatura e humidade, medidos (figuras 7 e 8) para um sistema isopleta para o crescimento micelial (adaptado de Sedlbauer, 2001)

Como usar o nomograma:

- A: O crescimento é lido em função da humidade relativa;
- B: Este valor é inserido na temperatura que é a ideal para o crescimento;
- C: O crescimento é lido em função da temperatura;
- D: Estes valores são inseridos na humidade relativa do ar, que é ideal para crescimento;
- E: Ligando estes 3 pontos (B, D), por meio de uma função cosh obtém-se a isopleta para as taxas de crescimento.

#### 2.4.1.5. Sistema Isopleta para formação de fungos em materiais de construção

Com base nos sistemas isopletas gerados até agora, apenas podem-se fazer “demonstrações” para o crescimento micelial para o meio de cultura ideal. Caso se pretenda prever a formação de fungos nos materiais de construção, a conversão é, portanto, necessária, de modo a assumirem-se diferentes substratos. Para esse efeito, têm de ser desenvolvidos sistemas isopletas válidos para substratos especiais, os quais são chamados no seguinte sistema isopleta de "substrato específico".

Como estão disponíveis poucas medidas de formação de fungos, relativamente a produtos de construção, é necessário definir categorias de substratos e gerar sistemas isopletas para estes grupos.

A Tabela 4 apresenta uma definição das categorias de substratos e os materiais de construção correspondentes. É gerado um sistema isopleta separado apenas para os grupos marcados com 0, I e II, sendo que no presente capítulo dá-se maior importância aos grupos marcados com I e II, já que foram os analisados no presente trabalho no capítulo quatro.

Os passos metodológicos a serem realizadas durante o desenvolvimento dos sistemas isopletas dos substratos específicos são explicados a seguir para o crescimento micelial. Um fungo pode germinar no meio de cultura ideal em determinadas condições higrotérmicas, considerando que em substratos especiais necessita de humidades mais elevadas para germinar. Isso significa que a humidade necessária para a germinação de esporos e crescimento micelial não depende apenas da temperatura, mas também do substrato. Uma vez que as ligações fisiológicas responsáveis ainda não podem ser completamente esclarecidas, a pessoa age com o pressuposto de que os sistemas isopletas, válidos para o acima exposto (categorias de substratos), têm que estar acima do respetivo sistema isopleta de meio de cultura ideal. Os sistemas isopletas para o meio de cultura ideal (classe de risco B / C), representados no lado direito da figura 6, são deslocados para cima, para humidades relativas superiores, sem mudar a sua forma.

#### 2.4.1.6. Crescimento micelial para substratos específicos em sistemas isopletas

Para determinar as taxas de crescimento resultantes de substratos específicos, que dependem da temperatura e da humidade relativa do ar, é necessário desenvolver sistemas isopletas válidos para as categorias de substratos I e II.

A Figura 10 apresenta os sistemas isopletas para o crescimento micelial para substratos de categoria I (ilustração à esquerda) e II (ilustração à direita). Assim, pode-se determinar por meio de comparações o crescimento esperado para as categorias de um único substrato em dependência das condições higrotérmicas.

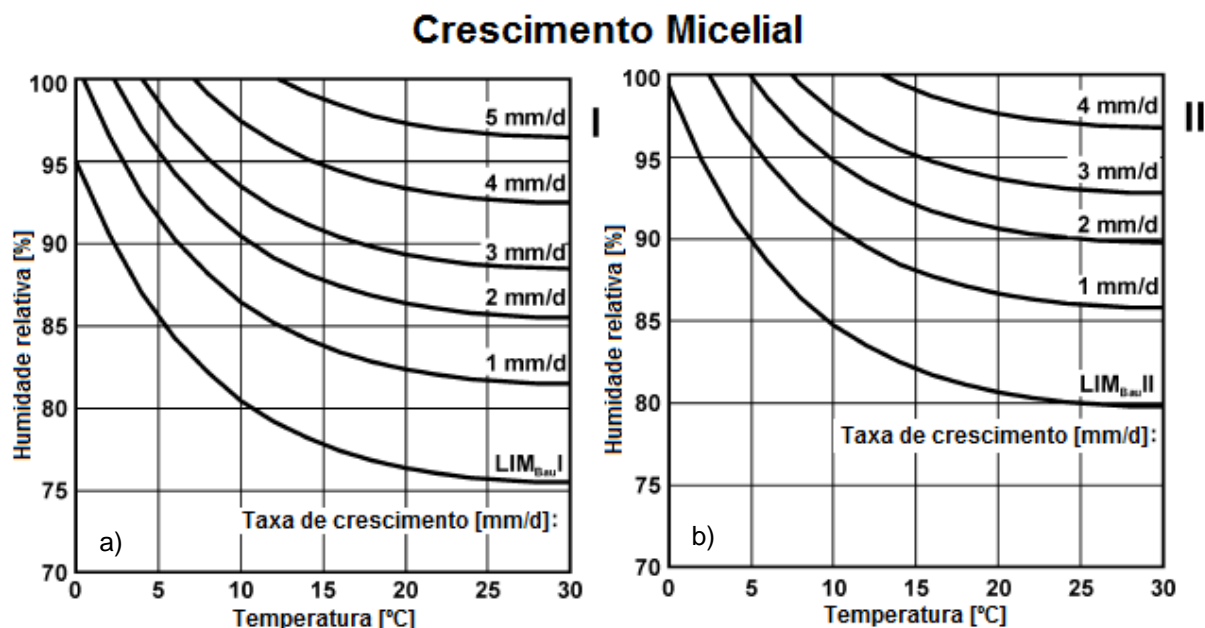


Fig. 10 - Sistema isopleta geral para o crescimento de micélio, válido para todos os fungos. As indicações em mm / d representam o crescimento micelial. Abaixo da LIMmat, não há nenhuma atividade biológica esperada em materiais de construção que pertençam ao respetivo grupo. (a) Fungos do substrato de categoria I. (b) Fungos do substrato de categoria II (adaptado de Sedlbauer, 2001)

A Figura 10 apresenta as curvas LIMmat das categorias de substratos marcadas na Tabela 4 com I e II. Os sistemas isopletas individuais referem-se às classes de risco B / C. A diferenciação em relação à classe de risco A e B / C pode ser feita apenas para o curso da curva LIM para o meio de cultura ideal, uma vez que só aqui os dados existentes são suficientes. Como existem várias culturas mistas de espécies de fungos usadas para medições em materiais de construção, não se pode distinguir entre fungos individuais e sua atribuição às classes de risco. Uma vez que os fungos perigosos de classe B / C têm condições de crescimento mais baixas, as curvas LIM para B / C são sempre determinadas mesmo que os fungos da classe A se apresentem entre outras culturas de fungos.

#### 2.4.2. MODELO BIO HIGROTÉRMICO

Para prevenir a formação de fungos nos edifícios, é necessário evitar a germinação dos esporos. Isto significa que a humidade disponível a determinadas temperaturas tem de ser descrita em termos de quantidade. Para este propósito, um novo tipo de modelo é desenvolvido, o modelo bio higrotérmico. A partir deste é possível calcular a disponibilidade de humidade de um esporo em dependência das condições superficiais.

##### 2.4.2.1. Ideia Modelo

Observando a curva representada na Figura 11, verifica-se que o crescimento de fungos é constituído por fases.

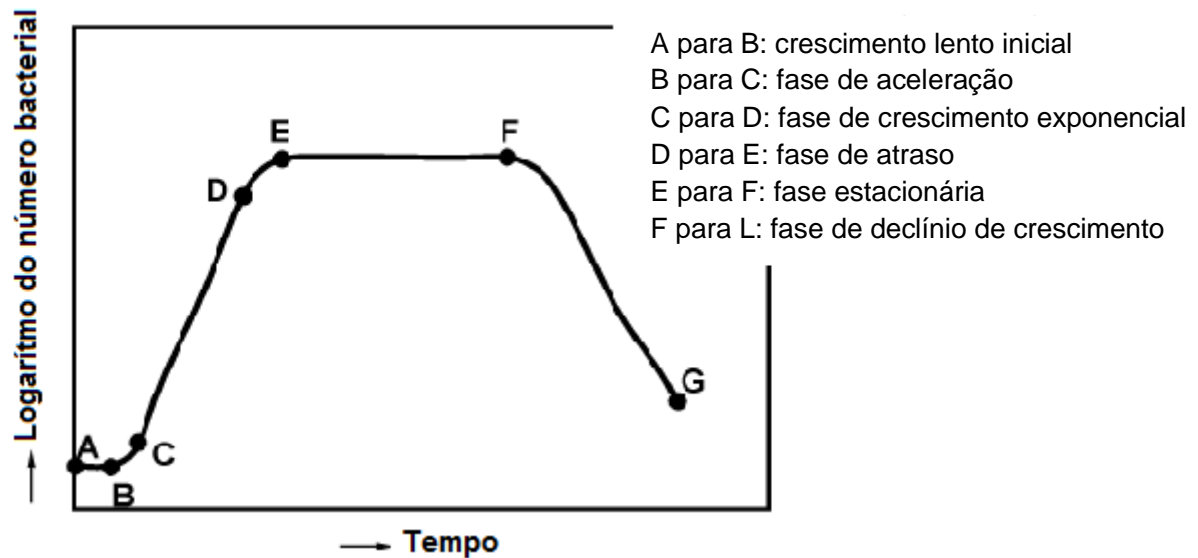


Fig. 11 - Diagrama esquemático da curva do crescimento de uma cultura de fungos (adaptado de Reiß et al, 1988)

A Figura 11 representa, neste contexto, esquematicamente, o substrato dependendo de processos de crescimento dentro da gama do “crescimento lento” inicial, da fase de aceleração e da fase exponencial do crescimento de fungos. O crescimento fúngico é traçado em função do tempo meio completo e para as categorias de substratos I e II. Pode-se ver, a partir da Figura 12, o tempo de arranque do metabolismo dos fungos e, também, o tempo de germinação de esporos influenciado pelo substrato, o qual é definido pelo primeiro crescimento fúngico visível, isto é, o desenvolvimento do tubo de germe. Os tempos de germinação dos esporos representados nos sistemas isoplefas descrevem, exatamente, o ponto no tempo.

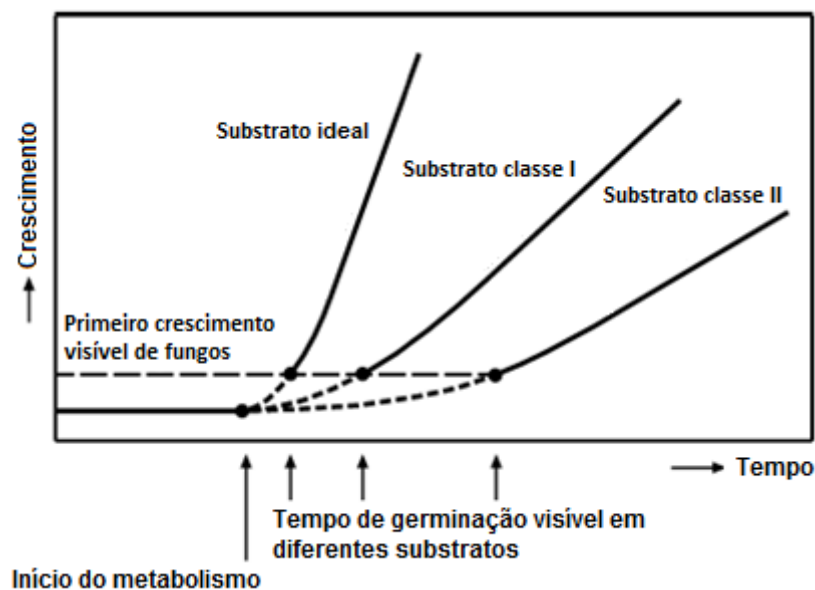


Fig. 12 - Diagrama esquemático da ideia modelo para processos de crescimento dependentes do substrato na fase do crescimento lento inicial, na fase de aceleração e na fase de crescimento exponencial (Figura 11) de fungos (adaptado de Sedlbauer, 2001)

A figura 12 apresenta o crescimento fúngico em dependência do tempo, com um meio de cultura ideal e para os grupos de substratos I e II. Além disso, é possível identificar o início do metabolismo dos fungos e o tempo de germinação de esporos influenciado pelo substrato, que é geralmente definido pelo primeiro crescimento visível de fungos.

A ideia modelo transmite que, na fase inicial de crescimento lento, se as condições higrotérmicas ambientais forem favoráveis, o esporo do fungo absorve umidade por meio de difusão, independentemente do meio de cultura, até um certo teor de umidade alcançado no seu interior (teor de umidade crítico), que é necessário para iniciar o metabolismo e o crescimento (figura 11). Antes do primeiro crescimento visível do fungo, o esporo é obviamente influenciado pelo substrato, uma vez que o tempo de germinação de esporos em meio de cultura ideal difere significativamente para substratos com poucos nutrientes (linhas tracejadas na Figura 12). A chamada fase exponencial de crescimento é a próxima etapa. Esta serve para reproduzir unidades vegetativas e para produção de biomassa dos fungos. Agora, o crescimento pode ser indicado em mm / d. A inclinação das curvas ( $dW / dt$ ) na Figura 12 depende mais uma vez do substrato.

O método bio higrotérmico descrito para prever a germinação de esporos baseia-se na ideia fundamental de que um esporo do fungo tem um certo potencial osmótico. Com a ajuda destes esporos com potencial osmótico, pode absorver a água existente no ambiente, isto é, em materiais, bem como no ar. Este potencial é descrito por meio de uma função de armazenamento de umidade e a resistência à difusão do septo dos esporos por um valor  $s_d$  dependente de umidade. Além das condições climáticas envolventes, é a função de armazenamento de umidade e o valor  $s_d$  que são decisivos para a absorção de umidade.

#### 2.4.2.2. Pressupostos do modelo

O modelo bio higrotérmico pode, assim, descrever o desenvolvimento do esporo até que o teor de umidade crítico seja atingido. Com o início das atividades fisiológicas, o fungo pode influenciar os seus nutrientes e o balanço hídrico por si próprio ou por vários mecanismos. Uma vez que o estado atual do conhecimento não é suficiente, a influência dos substratos será tornada possível pelos seguintes pressupostos:

- A absorção de água dos esporos é calculada com abordagem à difusão, também após os processos metabólicos terem começado.
- O teor de umidade crítico é determinado por meio isopleta para a germinação de esporos como se segue: em função da temperatura, a menor umidade relativa na qual ocorre a germinação de esporos pode ser lida fora das respectivas curvas LIM nas isopletas. Com a ajuda da função de armazenamento de umidade, válida para o interior dos esporos, o correspondente teor de umidade crítico pode ser calculado.

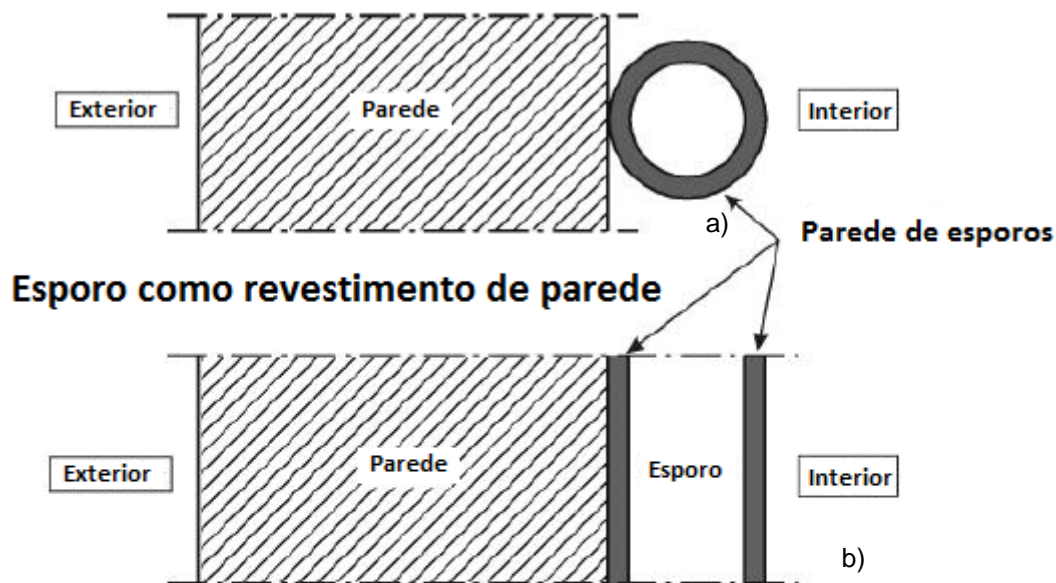
O período mostrado na Figura 12, entre o início do metabolismo e o primeiro crescimento fúngico visível em meio de cultura ótimo, é tomado em consideração ao ajustar os valores  $s_d$  do septo de esporos, de modo a que o tempo calculado de germinação de esporos em condições estacionárias por meio do modelo bio higrotérmico corresponda àqueles nas isopletas. A fim de considerar as possíveis influências do substrato, esta adaptação é realizada por meio das curvas LIMmat nas respectivas isopletas dos substratos de categorias 0, I e II.

#### 2.4.2.3. Modelagem dos esporos do fungo

A fim de tornar o modelo de cálculo simples a partir do modelo bio higrotérmico, os esporos do fungo devem ser considerados como uma estrutura de parede "biológica" quando está a ser modelada. O procedimento poderia ser como se segue.

O esporo, devido ao seu reduzido tamanho, certamente não influencia as condições físicas do edifício, na área da superfície do material. Portanto, não seria útil usar um modelo global, ou seja, a superestrutura componente com o esporo como forro, como é representado no centro da Figura 13. Esse modelo de cálculo com o esporo como uma camada na frente do edifício levaria mesmo a resultados com defeito, uma vez que o esporo apresentaria uma elevada resistência à difusão (irrealista). Assim, o modelo de esporos é assumido como sendo independente da parede, como é mostrado na parte inferior da Figura 13. Com isso pode-se usar quaisquer cursos de temperatura e humidade relativa como condições superficiais climáticas para o modelo bio higrotérmico.

### Modelo realista (esporo ampliado)



### Esporo no modelo biohigrotérmico

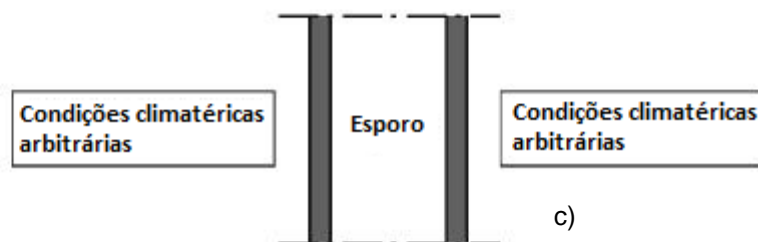


Fig. 13 - Vista esquemática (comparável) de um esporo. (a) Esporo sobre uma parede. (b) Esporo como revestimento de parede. (c) Modelo de esporos (c) (adaptado de Sedlbauer, 2001)

A relação entre o diâmetro e espessura da parede de esporos (30 cm) é aproximadamente 1: 100000. O verdadeiro esporo toca o material de construção, ou seja, as condições higrotérmicas nesta superfície não influenciam os processos higroscópicos no interior do esporo. No entanto, devido ao seu tamanho reduzido, o esporo não tem qualquer efeito sobre as condições físicas da construção na área da superfície do material.

Os cálculos baseados no modelo bio higrotérmico são realizados pelo programa WUFI. Os dados dos esporos são convertidos numa estrutura unidimensional (ver Figura 13). Os parâmetros

geométricos usados no modelo de esporos em comparação com esporos naturais estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros geométricos do espora modelo necessários para o modelo bio higrotérmico em comparação com o espora natural (adaptado de Sedlbauer, 2001)

Crítério	Unidade	Espora natural	Espora modelo
Diâmetro $d_{sp}$	$m$	$3.0 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
Espessura do septo $d_{spw}$	$m$	$5.0 \cdot 10^{-7}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$
Volume $V_{sp}$	$m^3$	$1.4 \cdot 10^{-17}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
Superfície $A_{sp}$	$m^2$	$2.8 \cdot 10^{-11}$	2.0
Relação: Volume/superfície	$m$	$5.0 \cdot 10^{-7}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$

Os fatores necessários para o modelo são as dimensões dos esporos (septo e o interior dos esporos), a permeabilidade, ou seja, a resistência à difusão do vapor de água do septo dos esporos, a função de armazenamento de humidade do espora e a condição de humidade (teor de humidade crítico), que descreve o início da germinação ou os processos fisiológicos. A espessura do septo de um espora é de aproximadamente 500 nm. O diâmetro do núcleo do espora é assumido como sendo de 2  $\mu m$ . Este tem um diâmetro total de aproximadamente 3 mm para um espora real. Um diâmetro de  $1,0 \times 10^{-2}$  m é assumido para o modelo de esporos. A função de armazenamento de humidade para os esporos de bactérias pode também ser usada para descrever os esporos dos fungos. No entanto, as unidades têm de ser convertidas, porque a função de armazenamento de humidade para os esporos considerada no programa WUFI é representada em volume (%).

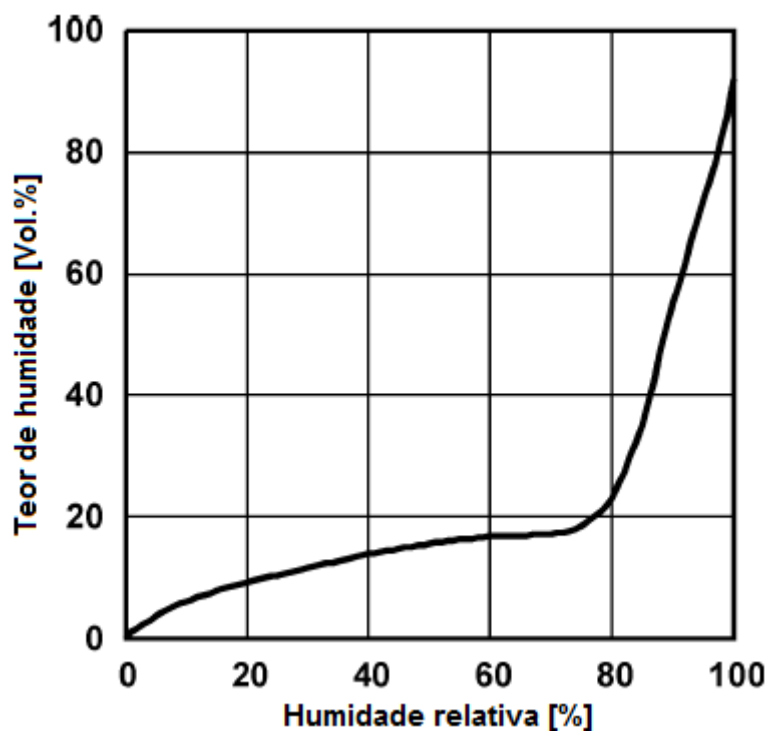


Fig. 14 - Função de armazenamento de humidade para descrever um modelo de esporos (adaptado de Rubel, 1997)



A resistência à difusão de vapor de água de um septo de esporos é necessária para os cálculos WUFI, assim como a camada de ar de difusão equivalente dependente da humidade. Uma vez que não foi possível calcular diretamente esta espessura devido ao reduzido tamanho dos esporos, o valor do  $s_d$  é ajustado para o modelo por reconversões em função dos tempos de germinação nas isopletas para germinação de esporos, na classe de risco B / C para substratos de categorias I e II. Com esta reconversão, os valores de  $s_d$  são ajustados de acordo com a humidade, mas sob condições isotérmicas até que as seguintes duas “situações” correspondam:

- O tempo calculado pelo modelo bio higrotérmico, que é necessário para que um esporo com um teor de humidade de equilíbrio inicial correspondente a 50% de humidade relativa do ar, atinja o teor de humidade crítico que lhe permita germinar, e
- O tempo de germinação de esporos indicado no sistema isopleta para diferentes humidades.

A curva  $s_d$ , dependente de humidade, determinada por esse método é mostrada na Figura 15 para a gama acima de uma humidade relativa de 70%. O valor de  $s_d$  torna-se mais pequeno para humidades relativas elevadas. Para determinar o teor de humidade crítico dentro dos esporos, tem que ler-se a humidade relativa do ar para a respetiva temperatura de LIM B / C ou LIMmat I ou LIMmat II. É em função do armazenamento de humidade que se obtém o teor de humidade correspondente ao início das atividades de metabolismo.

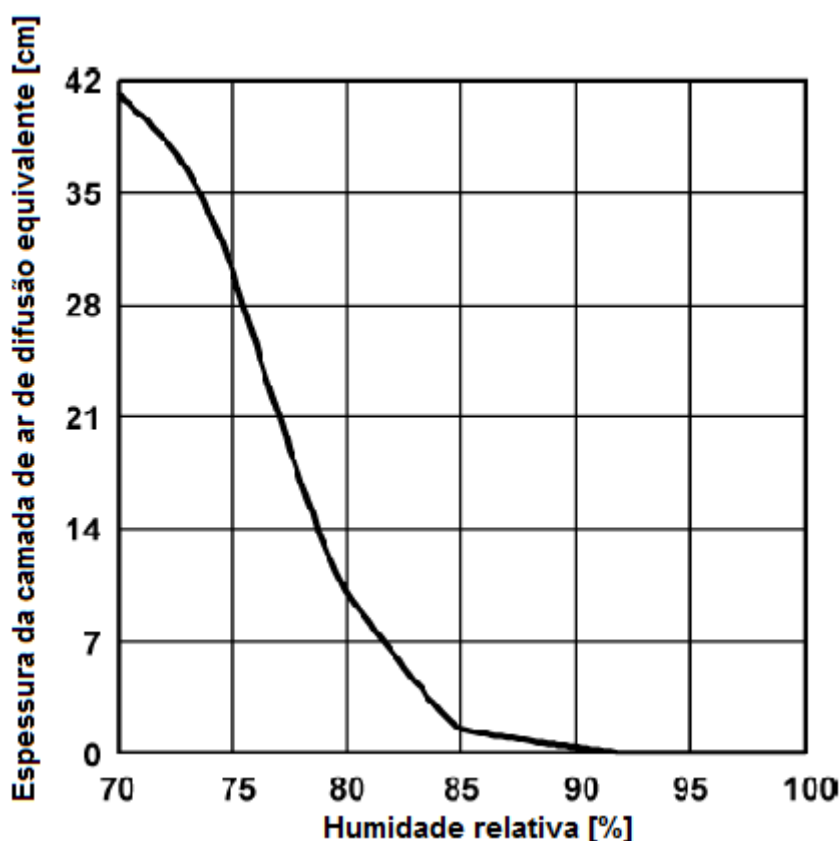


Fig. 15 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor  $s_d$ ) de um modelo de esporos aplicado para o septo de esporos utilizado no modelo bio higrotérmico, convertido para a escala específica (ver tabela 3) (adaptado de Sedlbauer, 2001)

## 2.5. DESCRIÇÃO DO MODELO WUFI-BIO

O WUFI-Bio é amplamente utilizado no campo da previsão do crescimento de fungos para estimar a probabilidade do crescimento de algumas espécies em materiais de construção. Nesta análise, os resultados da avaliação do risco de crescimento de fungos são apresentados como a taxa de crescimento de fungos. O procedimento para a previsão do crescimento de fungos com o modelo bio higrotérmico é como se segue. Com base nas condições higrotérmicas do clima de um local específico, resultante de uma simulação higrotérmica, o WUFI-Bio calcula o teor de humidade no esporo de acordo com a sua função de armazenamento de humidade. Em cada intervalo de tempo, o teor de humidade no esporo é comparado com o teor de humidade crítico, dependente da temperatura. O teor de humidade crítico é determinado por meio das isopletas para a germinação de esporos, como se segue: dependendo da temperatura, a menor humidade relativa para a qual ocorre a germinação de esporos pode ser lido a partir da respetiva curva LIM (isopleta mais baixa para fungos) na isopleta. Com a ajuda da função de armazenamento de humidade, válida para o interior dos esporos, o correspondente teor de humidade crítico pode ser calculado. A partir do momento em que a germinação tenha ocorrido, o sistema isopleta é utilizado para estimar o crescimento micelial. O crescimento micelial é assumido como zero quando o teor de humidade no esporo passa a ser inferior ao teor de humidade crítico. Contudo, o crescimento continuará a verificar-se instantaneamente quando o teor de humidade crítico for novamente ultrapassado.

Para utilizar este programa, numa primeira fase, é necessário definir as seguintes condições superficiais do material: humidade relativa inicial e categoria do substrato em análise, como é possível verificar na Figura 16.

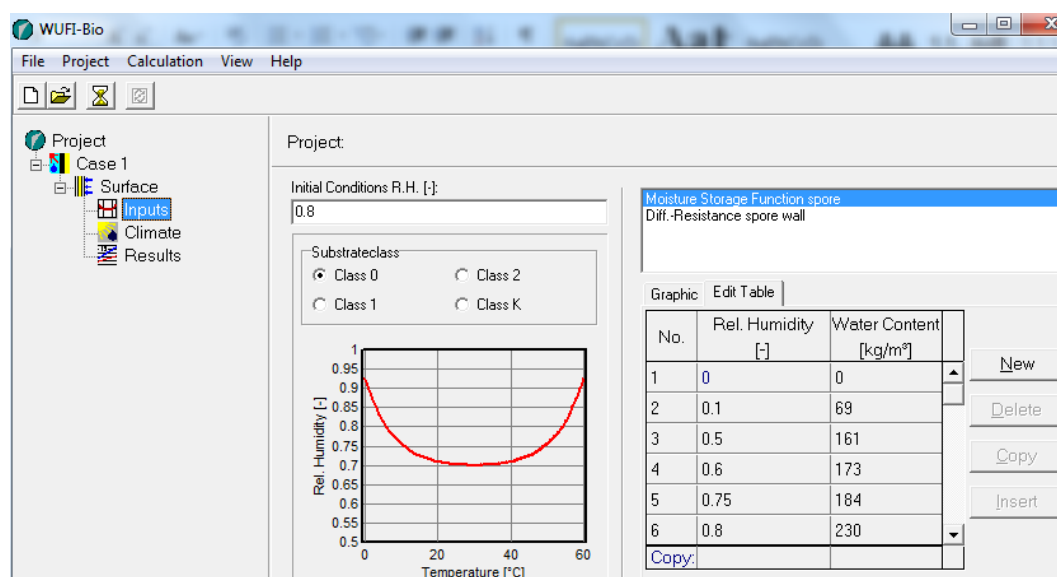


Fig. 16 – Introdução de dados no programa WUFI-Bio “Inputs”

De seguida é necessário importar o ficheiro relativo ao clima que se pretende analisar. Este ficheiro deverá conter a temperatura e humidade da superfície em análise para um determinado período de tempo. Na figura 17 descreve este “passo”.

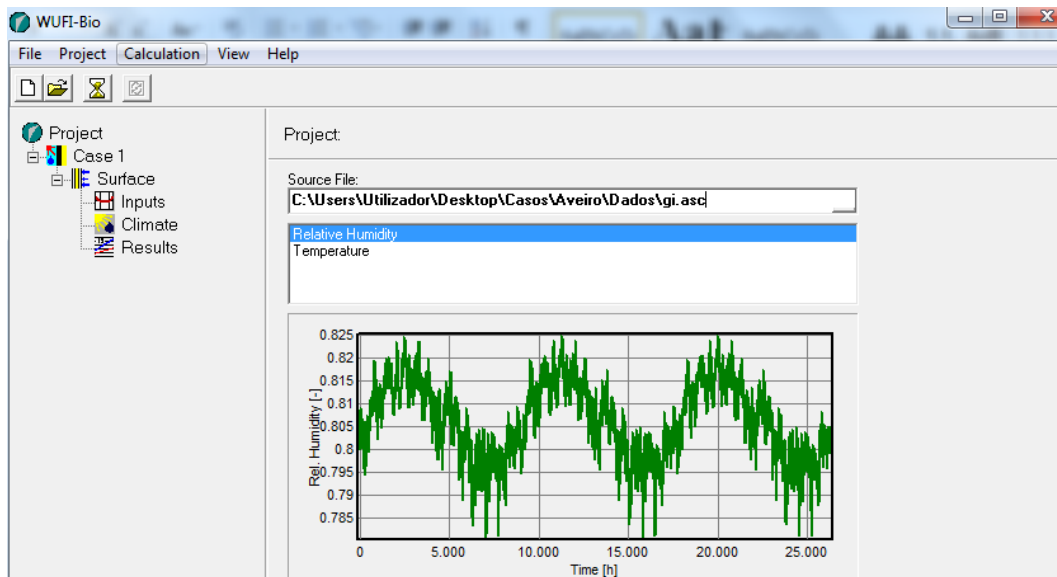


Fig. 17 – Introdução de dados no programa WUFI-Bio “Climate”

Por fim, é necessário correr o programa (“Calculation”), obtendo-se os resultados representados em dois gráficos. O gráfico superior contém as curvas relativas ao teor de humidade nos esporos e teor de humidade crítico, e o gráfico inferior contém a curva do crescimento fúngico (consequente da posição das curvas do gráfico superior). A figura 18 contém o último “passo” a seguir no programa, os resultados.

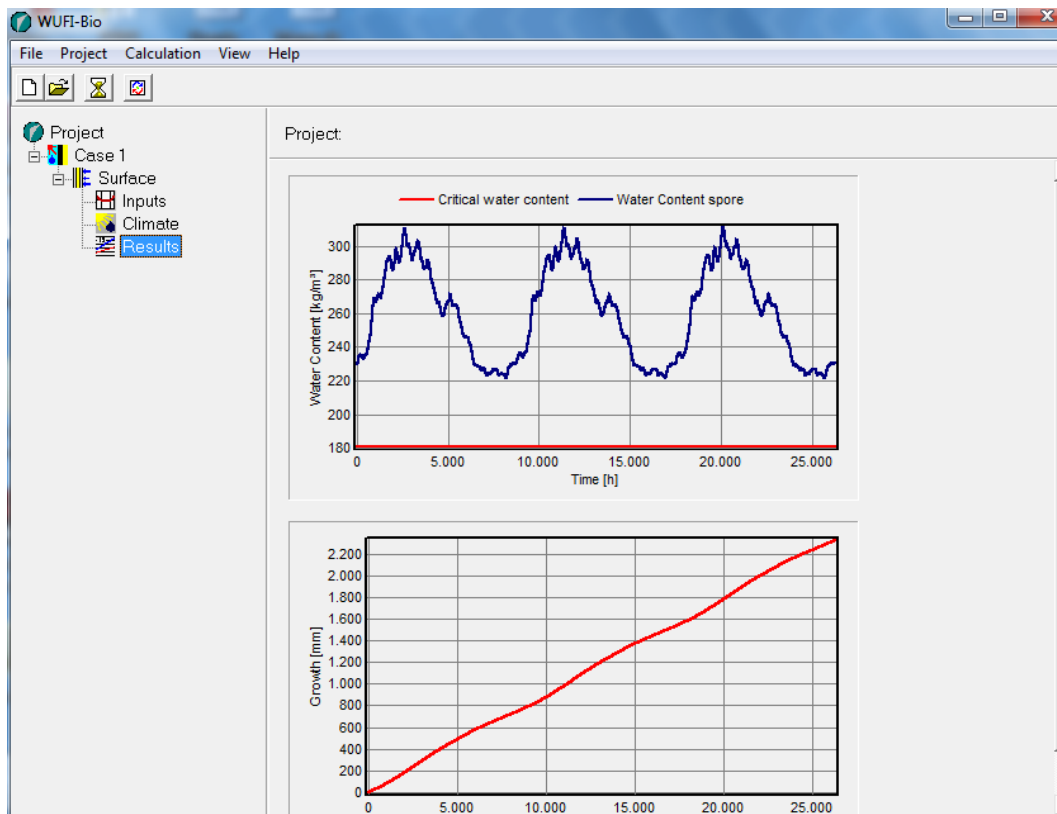


Fig. 18 – Resultados obtidos no programa WUFI-bio “Results”



# 3

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

### 3.1. INTRODUÇÃO

A presente análise procura determinar o efeito de diferentes combinações de humidade relativa (%) e de temperatura (°C) superficiais no crescimento de fungos para diferentes períodos de tempo e nos substratos das 3 categorias em estudo (0, I e II). Pretende-se, portanto, avaliar os valores assumidos pelo teor de humidade nos esporos e teor de humidade crítico (para os três substratos) face às condições de temperatura e humidade relativa definidas, e o modo como estes valores influenciam o crescimento de fungos.

A Tabela 6 sintetiza as combinações dos parâmetros que foram analisados.

Tabela 6 – Combinações de temperatura e humidade relativa para diferentes períodos de tempo nos substratos em estudo

Combinação	Substrato	Tempo (meses)	Temperatura (°C)	Humidade (%)	Condição inicial (%)	Período (horas)
A01	0	12	20	80	80	24
A11	1	12	20	80	80	24
A21	2	12	20	80	80	24
B01	0	12	30	80	80	24
B11	1	12	30	80	80	24
B21	2	12	30	80	80	24
C01	0	12	10/30	80	80	12
C11	1	12	10/30	80	80	12
C21	2	12	10/30	80	80	12
D01	0	12	20/30	80	80	12
D11	1	12	20/30	80	80	12
D21	2	12	20/30	80	80	12
E01	0	2	20/30	60	80	12
E11	1	2	20/30	60	80	12
E21	2	2	20/30	60	80	12
F01	0	2	20/30	80	80	12
F11	1	2	20/30	80	80	12
F21	2	2	20/30	80	80	12
G01	0	2	20	60/80	80	12
G11	1	2	20	60/80	80	12
G21	2	2	20	60/80	80	12
H01	0	2	30	60/80	80	12
H11	1	2	30	60/80	80	12
H21	2	2	30	60/80	80	12
I01	0	12	30	60	60	24
I11	1	12	30	60	60	24
I21	2	12	30	60	60	24

### 3.2. ANÁLISE DAS DIFERENTES COMBINAÇÕES DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA

Nos primeiros dois casos analisados (A e B) mantém-se a temperatura e a humidade relativa constantes. Para ambos os casos utiliza-se uma humidade relativa de 80%, sendo que no caso A a temperatura é de 20°C e no caso B de 30°C.

O que se verifica é que no caso A, para o substrato de categoria II, não há qualquer crescimento de fungos, uma vez que o teor de humidade crítico é superior ao teor de humidade nos esporos ( $239,59 > 230$ ).

Já no caso B, em que há uma subida da temperatura de 10°C relativamente a A, verifica-se uma descida do teor de humidade crítico nos substratos das 3 categorias. Logo, uma vez que o teor de humidade nos esporos se mantém ( $230 \text{ kg/m}^3$ ), a diferença entre o teor de humidade nos esporos e o teor de humidade crítico aumenta, levando assim a um crescimento mais acentuado de fungos nos 3 substratos do caso B. As figuras 19 e 20 traduzem os parâmetros analisados.

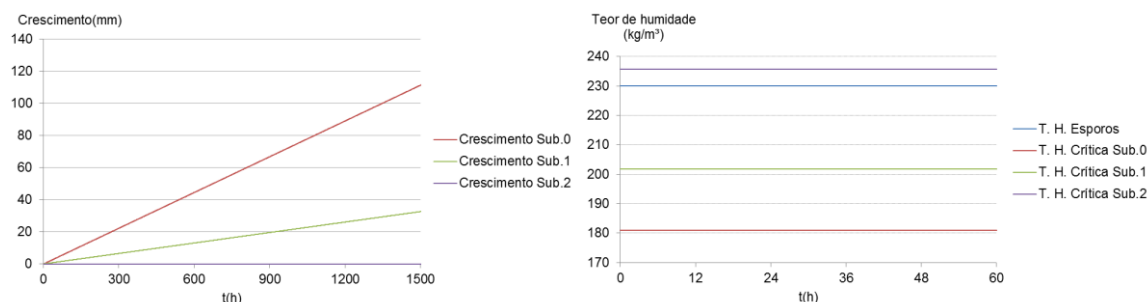


Fig. 19 – Combinação A (20°C; 80%)

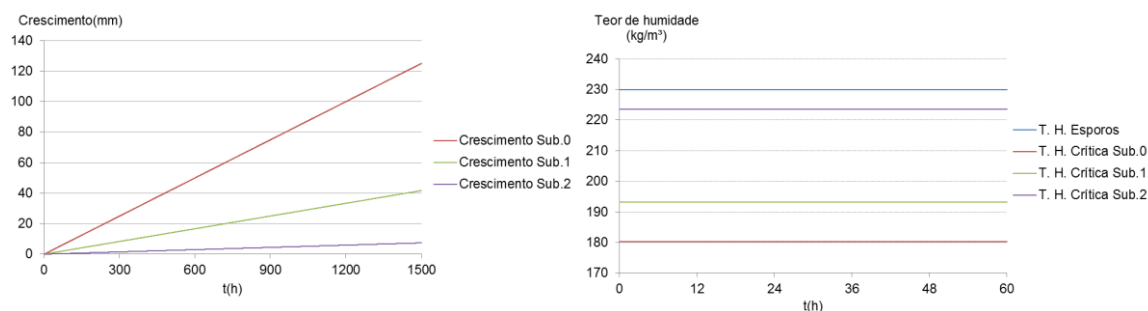


Fig. 20 – Combinação B (30°C; 80%)

Nos casos C e D faz-se alternar a temperatura por períodos de 12 horas, mantendo-se a humidade relativa constante. Para ambos os casos a humidade relativa é de 80%, sendo que a temperatura varia entre 10°C e 30°C para o caso C, e entre 20°C e 30°C para o caso D. O aumento da temperatura (mínima) provoca uma redução do teor de humidade crítico (máximo) nos diferentes substratos, mantendo-se constante o teor de humidade nos esporos. No caso D, em que há uma subida da temperatura mínima de 10°C para 20°C (relativamente a C) verifica-se uma redução nos valores do teor de humidade crítico máximo atingidos nos substratos das 3 categorias, mantendo-se os valores mínimos iguais aos do caso D. Assim sendo, uma vez que há redução do limite máximo do teor de humidade crítico nos substratos de categoria 0 e I, a distância entre o teor de humidade crítico e o teor de humidade nos esporos aumenta, verificando-se um crescimento mais acentuado dos fungos nestes substratos no caso D comparativamente a C.

No substrato de categoria II também se verificou uma redução do teor de humidade crítico. Contudo, visto que o teor de humidade crítico máximo se manteve acima do teor de humidade nos esporos, o crescimento de fungos verificado no caso E é igual ao verificado em D ( $235,59 > 230$ ). As figuras 21 e 22 traduzem os parâmetros analisados.

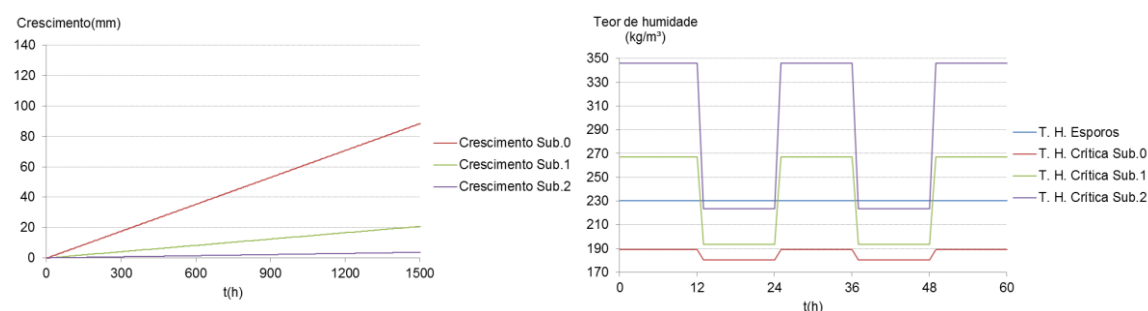


Fig. 21 – Combinação C (10°C e 30°C; 80%)

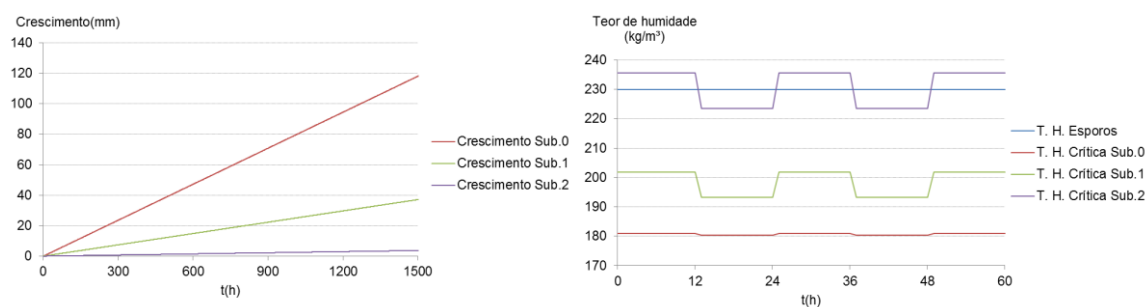


Fig. 22 – Combinação D (20°C e 30°C; 80%)

Nos casos E e F faz-se variar a temperatura (entre 20°C e 30°C) por períodos de 12 horas mantendo-se a humidade relativa constante, sendo que a humidade relativa para o caso E é de 60% e para o caso F é de 80%.

Com a variação da temperatura verifica-se uma redução e um aumento do teor de humidade crítico com a subida e descida de temperatura, respetivamente.

No caso F a humidade relativa considerada é igual à humidade relativa considerada na condição inicial (80%), o que faz com que o teor de humidade nos esporos se mantenha constante. No caso E a humidade relativa considerada é de 60%, ou seja, difere da humidade relativa considerada como condição inicial, provocando, deste modo, uma redução do teor de humidade nos esporos (de  $230\text{kg/m}^3$  para  $173\text{kg/m}^3$ ). Esta redução conduz a que o valor do teor de humidade crítico nos substratos das diferentes categorias seja superior ao teor de humidade nos esporos, limitando assim o crescimento de fungos nestes substratos. As figuras 23 e 24 traduzem os parâmetros analisados.

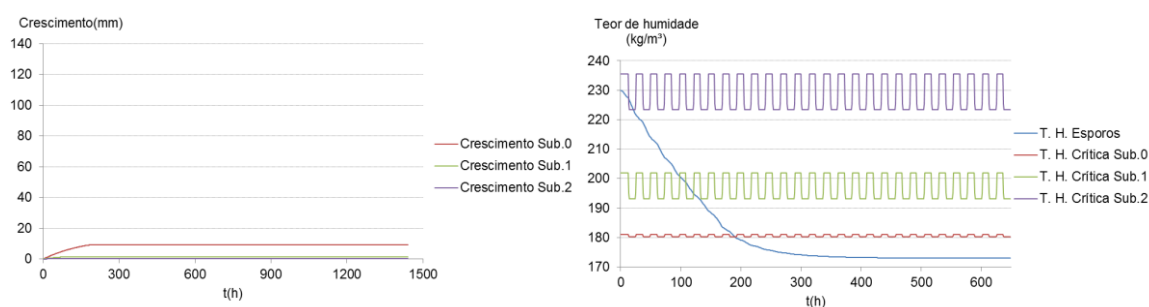


Fig. 23 – Combinação E (20°C e 30°C; 60%)

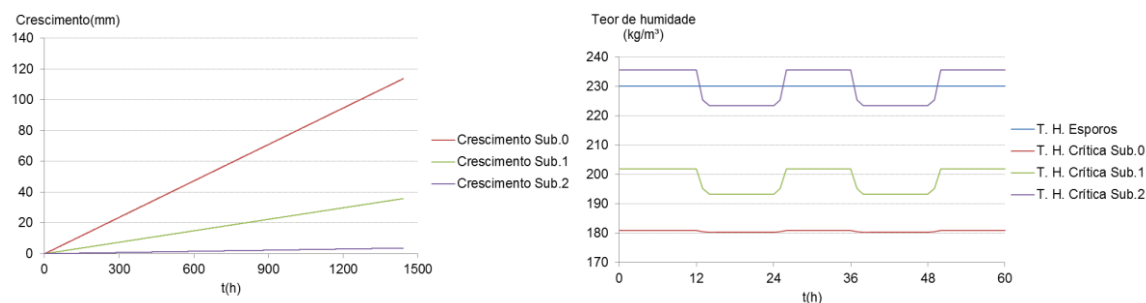


Fig. 24 – Combinação F (20°C e 30°C; 80%)

Nos casos G e H faz-se variar a humidade relativa (entre 60% e 80%) por períodos de 12 horas, mantendo-se o valor da temperatura constante, sendo que a temperatura para o caso G é de 20°C e para caso H é de 30°C. Com a variação da humidade relativa verifica-se uma variação do teor de



humidade nos esporos, sendo que a redução se verifica no período em que a humidade relativa é menor (60%) e o aumento no período em que a humidade relativa é maior (80%).

No período em que se verifica a redução, o declive é muito superior ao declive verificado no aumento, provocando uma acentuada descida do teor de humidade nos esporos. Apesar do valor do teor de humidade não assumir um valor constante, este desce de  $230 \text{ kg/m}^3$  para  $182 \text{ kg/m}^3$ , aproximadamente. No caso G o valor da temperatura é superior ao de H, resultando, deste modo, em valores do teor de humidade crítico em G superiores aos obtidos em H. A diferença de valores do teor de humidade crítico entre os substratos da mesma categoria obtidos nos casos G e H aumenta à medida que a categoria de substrato também aumenta (0, I e II). O desempenho da curva relativa ao teor de humidade nos esporos é, praticamente, igual. As figuras 25 e 26 traduzem os parâmetros analisados.

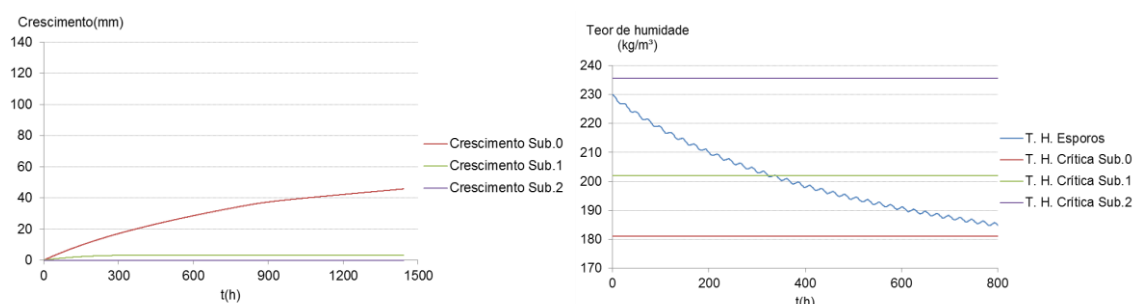


Fig. 25 – Combinação G (20°C; 60% e 80%)

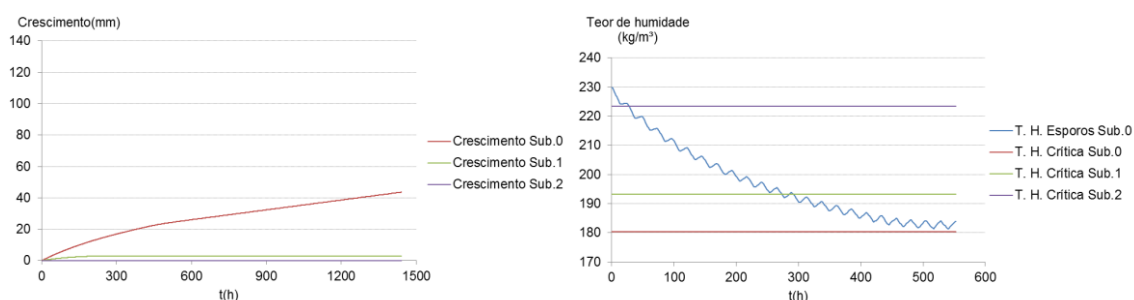


Fig. 26 – Combinação H (30°C; 60% e 80%)

No caso I mantém-se a temperatura e a humidade relativa constantes (30°C e 60%), sendo que a humidade relativa inicial (condição inicial) utilizada é de 60%. Uma vez que não há um aumento da humidade relativa no decorrer do tempo, o teor de humidade nos esporos ( $173 \text{ kg/m}^3$ ) nunca chega a atingir o teor de humidade crítico, não se verificando, assim, qualquer crescimento de fungos em nenhum dos substratos. A figura 27 traduz os parâmetros analisados.

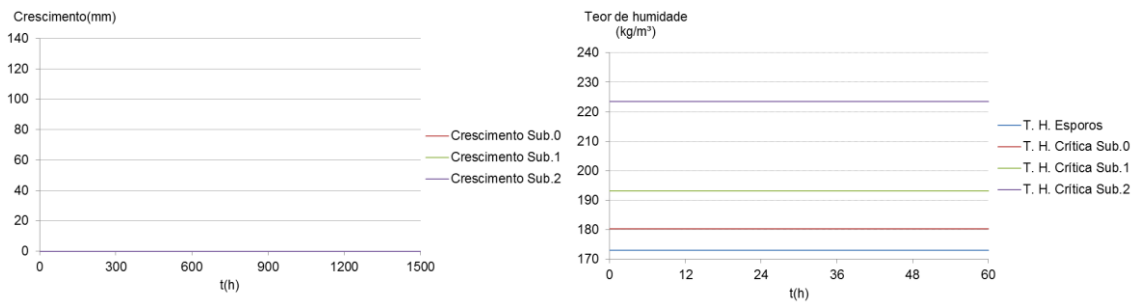


Fig. 27 – Combinação I (30°C; 60%)

# 4

## RISCO DE DESENVOLVIMENTO DE BOLORES EM PORTUGAL CONTINENTAL

### 4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo apresentam-se as soluções construtivas analisadas, relativamente ao desenvolvimento de fungos, para as diversas capitais de distrito de Portugal Continental e os respetivos resultados. Esta análise tem como objetivo avaliar o risco de desenvolvimento de fungos para diferentes materiais de construção utilizados como revestimento interior em fachadas de edifícios, para soluções construtivas com e sem isolamento térmico.

Esta análise permite avaliar o efeito da presença de isolamento térmico (nas soluções construtivas) e os diferentes materiais utilizados como revestimento interior, face ao desenvolvimento de fungos, e, avaliar quais os parâmetros (interiores e exteriores) que mais influenciam este desenvolvimento.

De modo a realizar-se uma análise mais pormenorizada para as capitais de distrito de Portugal Continental, elaboraram-se mapas de risco, relativamente ao desenvolvimento de fungos, para as diferentes soluções construtivas em análise, permitindo, deste modo, comparar este desenvolvimento entre as capitais.

#### 4.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No que diz respeito ao caso de estudo (edifício), descrevem-se algumas considerações para as simulações realizadas:

Orientação: Norte

Inclinação: 90°

Altura: Edifício pequeno, até 10m

- Superfície exterior:  
Resistência térmica [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: 0,0588  
Absorção (radiação de onda curta): 0,4  
Emissividade (radiação de onda longa): 0,9  
Refletividade do solo (onda curta): 0,2  
Fator de redução da chuva incidente: 0,7
- Superfície interior:  
Resistência térmica [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: 0,125

Humidade relativa inicial: 0,8

Temperatura inicial [°C]: 20

Tempo da simulação: 3 anos (26.280 horas)

#### 4.1.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS BASE

Optou-se por definir duas soluções construtivas como base, uma sem isolamento térmico e outra com isolamento térmico, fazendo-se variar o tipo de revestimento interior. Os materiais utilizados para as soluções base foram os seguintes: um reboco exterior em argamassa de cimento (20 mm), EPS (no caso das soluções com isolamento térmico) (60 mm) e betão (200 mm). A tabela 7 contém os dados dos materiais que constituem as soluções base. O betão utilizado é de baixa condutibilidade térmica que lhe confere um melhor desempenho face aos betões correntes.

Tabela 7 – Dados dos materiais das soluções base

	<b>Reboco exterior</b>	<b>EPS</b>	<b>Betão</b>
Densidade aparente [ $Kg/m^3$ ]	1219	30	460
Porosidade [ $m^3/m^3$ ]	0,3	0,95	0,79
Calor específico, seco [ $J/KgK$ ]	850	1500	840
Condutibilidade térmica, seco [ $W/mK$ ]	0,25	0,04	0,12
Fator de resistência à difusão de vapor de água [-]	10,8	50	18,6
Teor de humidade de referência [ $Kg/m^3$ ]	16		
Humidade de saturação livre [ $Kg/m^3$ ]	160		
Cond. térmica complementar dependente da humidade			
Cond. térmica complementar dependente da temperatura	0,0002	0,0002	0,0002
Valor típico da humidade de construção [ $Kg/m^3$ ]	10	1,79	20
Espessura da camada [ $m$ ]	0,005	0,06	0,2

As soluções construtivas utilizadas como base na análise apresentam-se na Figura 28. Do lado esquerdo apresenta-se a solução construtiva sem isolamento térmico e do lado direito a solução construtiva com isolamento térmico (EPS)

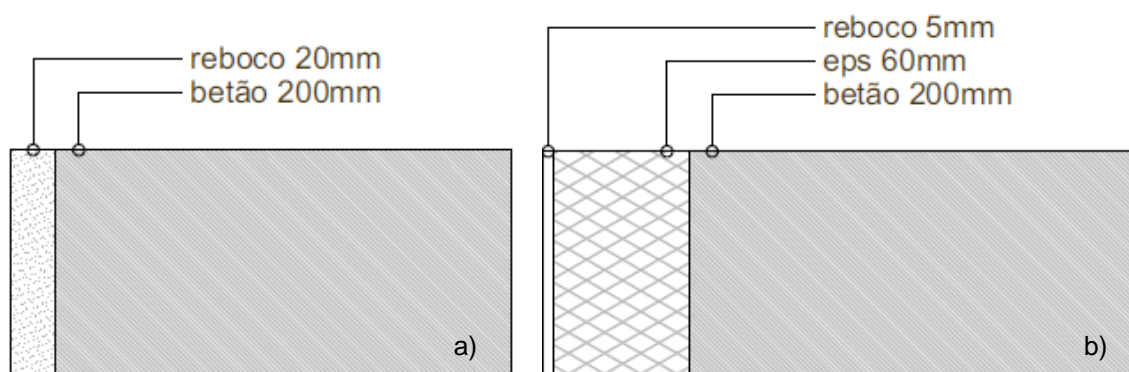


Fig. 28 – Soluções construtivas utilizadas como base. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Para cada solução construtiva base (com isolamento e sem isolamento térmico) adicionaram-se 5 materiais distintos utilizados para revestimento interior, dos quais três pertencem ao substrato de categoria I e dois ao substrato de categoria II.

## 4.2. MAPAS DE RISCO PARA PORTUGAL CONTINENTAL

### 4.2.1. CRESCIMENTO ACUMULADO

Tal como foi referido anteriormente, este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de mapas de risco para Portugal Continental para soluções construtivas com e sem isolamento térmico, utilizando-se diferentes materiais como revestimento interior.

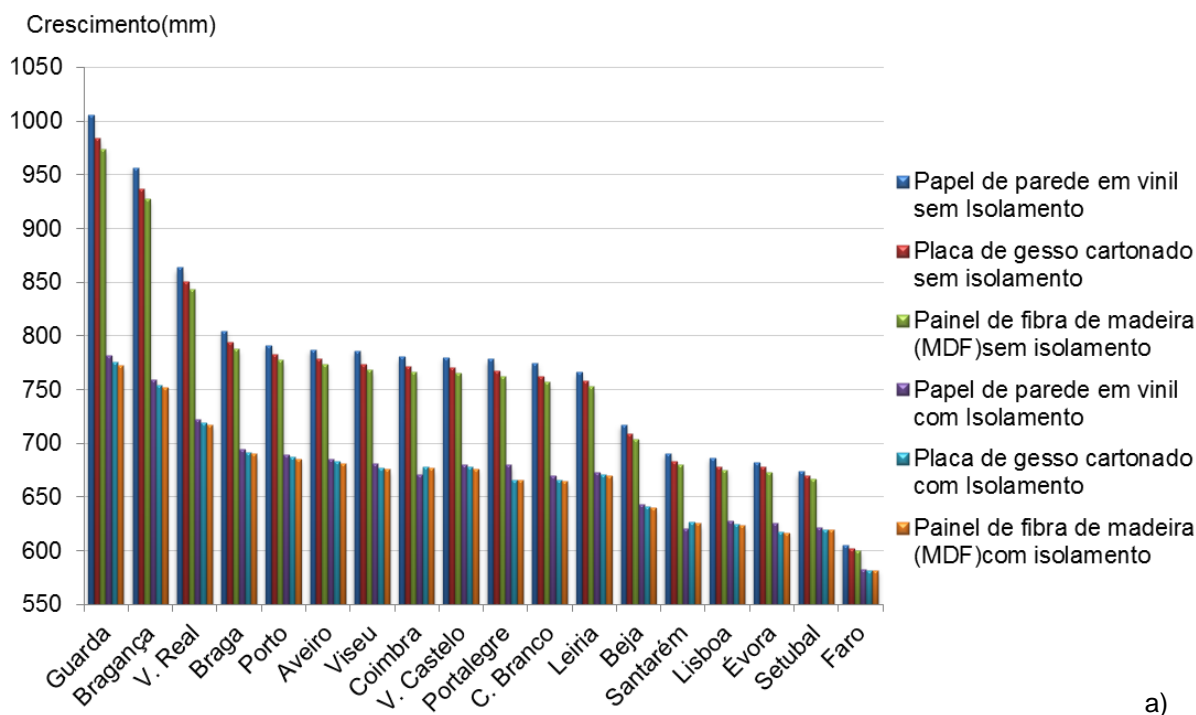
A tabela 8 contém o crescimento acumulado de fungos para as soluções construtivas em análise, para um período de 3 anos (26.280 horas).

**Estes resultados foram obtidos para condições interiores específicas de 20°C e 80%. Na prática, considerando condições variáveis ao longo do tempo, outros resultados mais gravosos poderiam ser obtidos.**

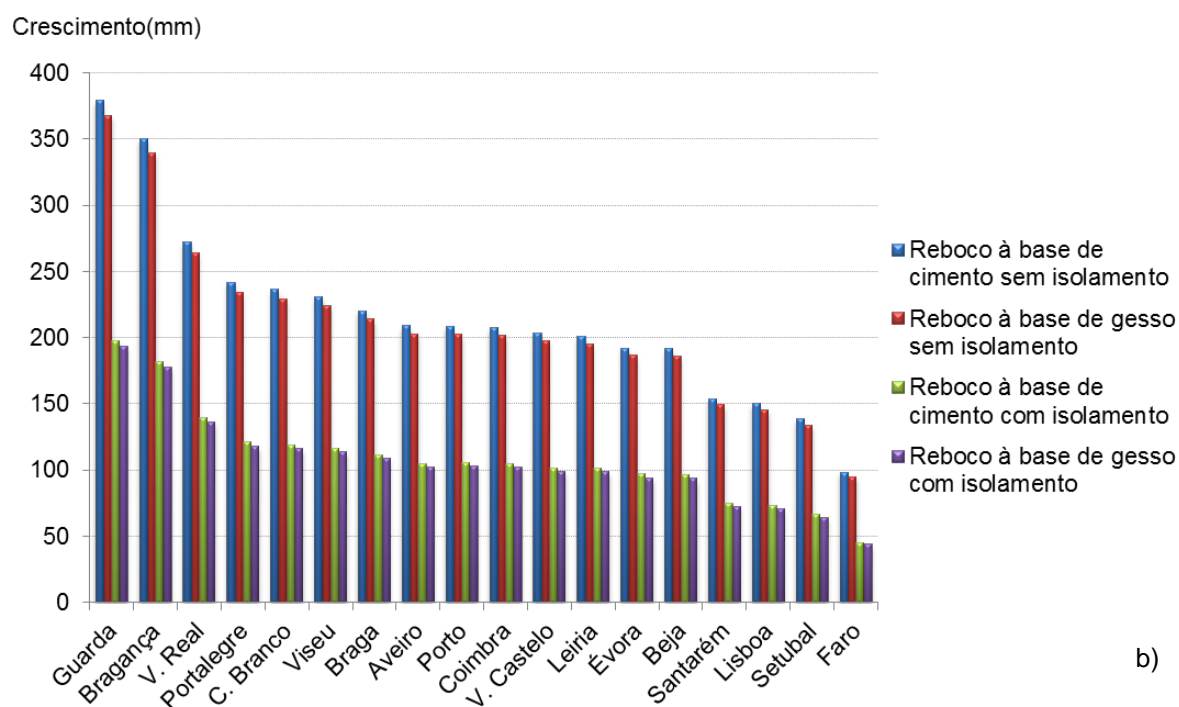
Tabela 8 – Crescimento acumulado de fungos (mm) para os materiais representantes dos substratos de categoria I e II

	Placa de gesso cartonado		Painel de fibra de madeira (MDF)		Papel de parede em vinil		Reboco à base de cal		Reboco à base de gesso	
	S/ Isol.	C/ Isol.	S/ Isol.	C/ Isol.	S/ Isol.	C/ Isol.	S/ Isol.	C/ Isol.	S/ Isol.	C/ Isol.
Aveiro	779	683	773	681	787	685	209	105	203	102
Beja	708	641	704	640	717	643	191	96	186	94
Braga	794	692	788	690	804	694	220	111	214	109
Bragança	937	754	928	752	956	759	350	182	340	178
C. Branco	762	666	757	665	774	670	236	119	229	116
Coimbra	771	678	766	677	780	680	208	105	202	103
Évora	678	617	673	617	691	621	192	97	187	94
Faro	602	582	600	582	605	583	98	45	95	44
Guarda	984	775	974	773	1006	782	379	198	368	193
Leiria	758	671	753	669	766	673	201	101	195	99
Lisboa	678	624	675	624	682	626	150	73	145	71
Portalegre	767	666	762	665	781	671	242	121	234	118
Porto	783	687	777	685	791	689	209	105	202	103
Santarém	683	626	680	626	687	628	154	75	149	73
Setubal	670	620	667	619	674	621	138	66	134	64
V. Castelo	771	678	765	676	778	680	204	102	198	99
V. Real	851	719	844	717	864	723	272	139	264	136
Viseu	774	677	768	676	786	681	231	117	224	114

Através dos resultados apresentados na Tabela 8, procedeu-se à realização de gráficos que permitem analisar, comparativamente, o desenvolvimento de fungos, em função das soluções construtivas adotadas para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental. A figura 29 apresenta o crescimento de fungos acumulado para as diferentes capitais de distrito das soluções construtivas em análise.



a)



b)

Fig. 29 – Crescimento acumulado de fungos para as capitais de distrito de Portugal Continental. (a) Revestimentos interiores pertencentes ao substrato de categoria I. (b) Revestimentos interiores pertencentes ao substrato de categoria II

Através da figura 29 verifica-se o efeito da categoria de substrato e da presença de isolamento térmico nas soluções construtivas em análise relativamente ao desenvolvimento de fungos. Verifica-se, então, que para os materiais pertencentes ao substrato de categoria II o desenvolvimento de fungos é muito superior ao verificado para os materiais pertencentes ao substrato de categoria I, tanto nas soluções com isolamento térmico como sem isolamento térmico. No entanto, o efeito do isolamento térmico em ambos os substratos provoca uma redução média do crescimento de fungos de, aproximadamente 100 mm.

Relativamente aos tipos de substrato, a média de crescimento verificado nos materiais pertencentes ao substrato de categoria I sem isolamento térmico é de 750 mm, enquanto nos materiais pertencentes ao substrato de categoria II sem isolamento é de 200 mm. Analisando os mesmos substratos na presença de isolamento verifica-se que a média de crescimento para os materiais pertencentes ao substrato de categoria I é de 650 mm e para os materiais pertencentes ao substrato de categoria II é de 100 mm. Esta análise possibilita concluir que o desenvolvimento de fungos em materiais pertencentes ao substrato de categoria I é muito superior ao verificado nos materiais pertencentes ao substrato de categoria II, e que, independentemente do substrato atribuído ao material, a redução do crescimento de fungos na presença de isolamento térmico é, em média, a mesma para materiais de ambos os substratos (~100 mm).

#### 4.2.2. SUBSTRATO DE CATEGORIA I

Para o substrato de categoria I utilizou-se uma placa de gesso cartonado, um painel de fibra de madeira (MDF) e um papel de parede em vinil (aplicado sobre um reboco de gesso). Os dados dos materiais tidos em conta para representar esta categoria apresentam-se na tabela 9.

Tabela 9 – Dados dos materiais representantes do substrato de categoria I

	Substrato categoria I		
	Gesso cartonado	Madeira (MDF)	Papel de parede
Densidade aparente [ $Kg/m^3$ ]	850	508	829
Porosidade [ $m^3/m^3$ ]	0,65	0,667	0,02
Calor específico, seco [ $J/KgK$ ]	850	1700	2300
Condutibilidade térmica, seco [ $W/mK$ ]	0,2	0,12	112
Fator de resistência à difusão de vapor de água [-]	8,3	15	11970 *
Cond. térmica complementar dependente da humidade	8	1,5	
Cond. térmica complementar dependente da temperatura	0,0002	0,0002	0,0002
Valor típico da humidade de construção [ $Kg/m^3$ ]	8	66	24,8
Espessura da camada [ $m$ ]	0,0125	0,015	0,00045

\* Papel de parede com fator de resistência à difusão de vapor de água muito elevado

## 4.2.2.1. Placa de gesso cartonado

Para a solução que tem como revestimento interior a placa de gesso cartonado verificou-se um crescimento de fungos mais elevado para o distrito da Guarda e menor para o distrito de Faro, tanto na solução construtiva com isolamento térmico como sem isolamento térmico. As soluções construtivas apresentam-se na figura 30.

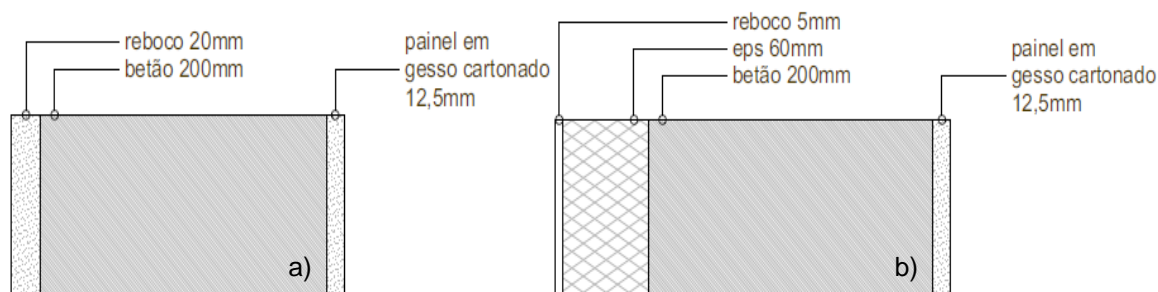


Figura 30 – Soluções construtivas com placa de gesso cartonado como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Os mapas de risco que se seguem avaliam o risco do desenvolvimento de fungos para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental, para soluções que possuem como revestimento interior placa de gesso cartonado (figura 31).

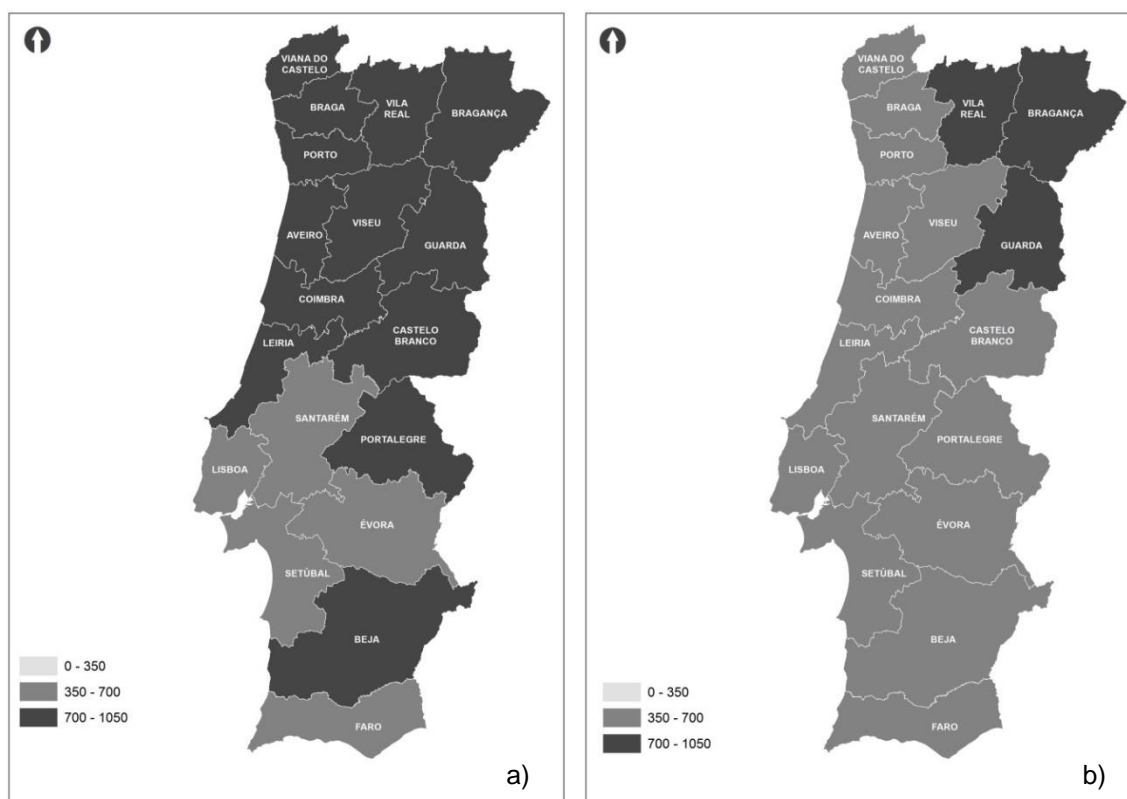


Figura 31 – Mapas de risco para a solução com placa de gesso cartonado como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico



#### 4.2.2.2. Pannel de fibra de madeira (MDF)

Para a solução que tem como revestimento interior um pannel de fibra de madeira (MDF) verificou-se um crescimento de fungos mais elevado para o distrito da Guarda e menor para o distrito de Faro, tanto na solução construtiva com isolamento térmico como sem isolamento térmico. As soluções construtivas apresentam-se na figura 32.

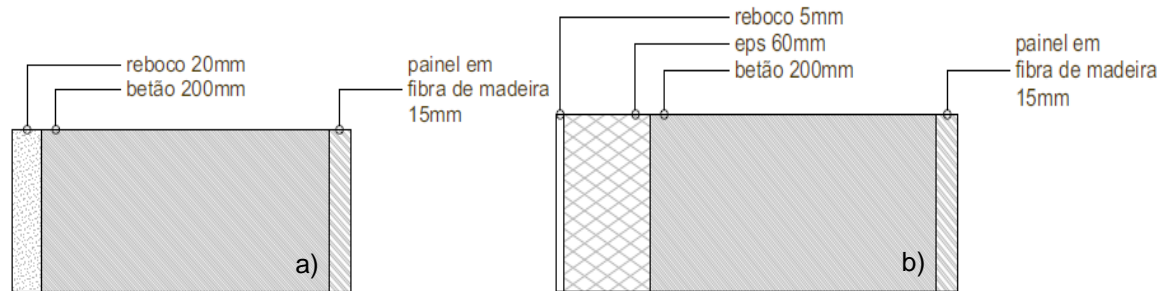


Figura 32 – Soluções construtivas com pannel de fibra de madeira (MDF) como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Os mapas de risco que se seguem avaliam o risco do desenvolvimento de fungos para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental, para soluções que possuem como revestimento interior pannel de fibra de madeira (MDF) (figura 33).

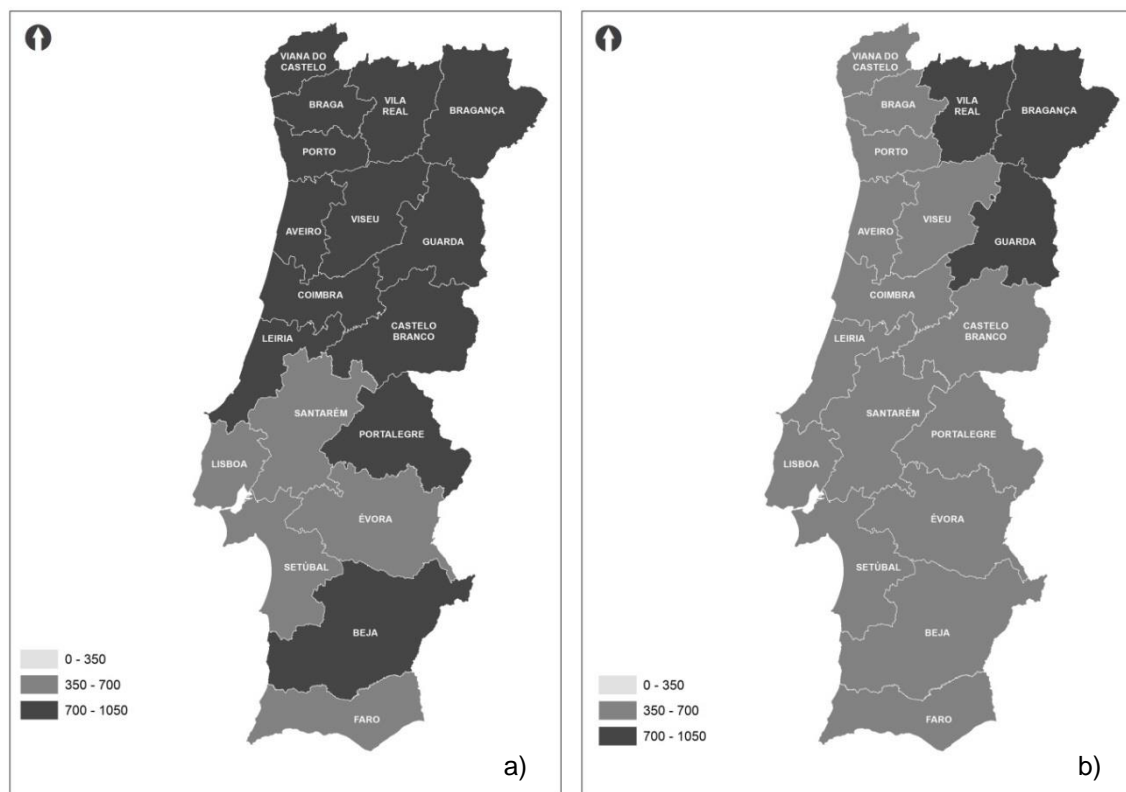


Figura 33 – Mapas de risco para a solução com pannel de fibra de madeira (MDF) como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

## 4.2.2.3. Papel de parede em vinil

Para a solução que tem como revestimento interior papel de parede em vinil (aplicado sobre um reboco de gesso) verificou-se um crescimento de fungos mais elevado para o distrito da Guarda e menor para o distrito de Faro, tanto na solução construtiva com isolamento térmico como sem isolamento térmico. As soluções construtivas apresentam-se na figura 34.

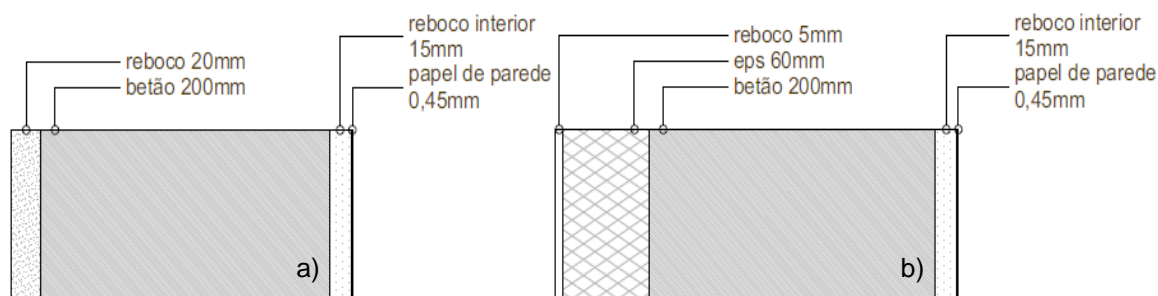


Figura 34 – Soluções construtivas com papel de parede em vinil como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Os mapas de risco que se seguem avaliam o risco do desenvolvimento de fungos para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental para soluções que possuem como revestimento interior papel de parede em vinil (figura 35).

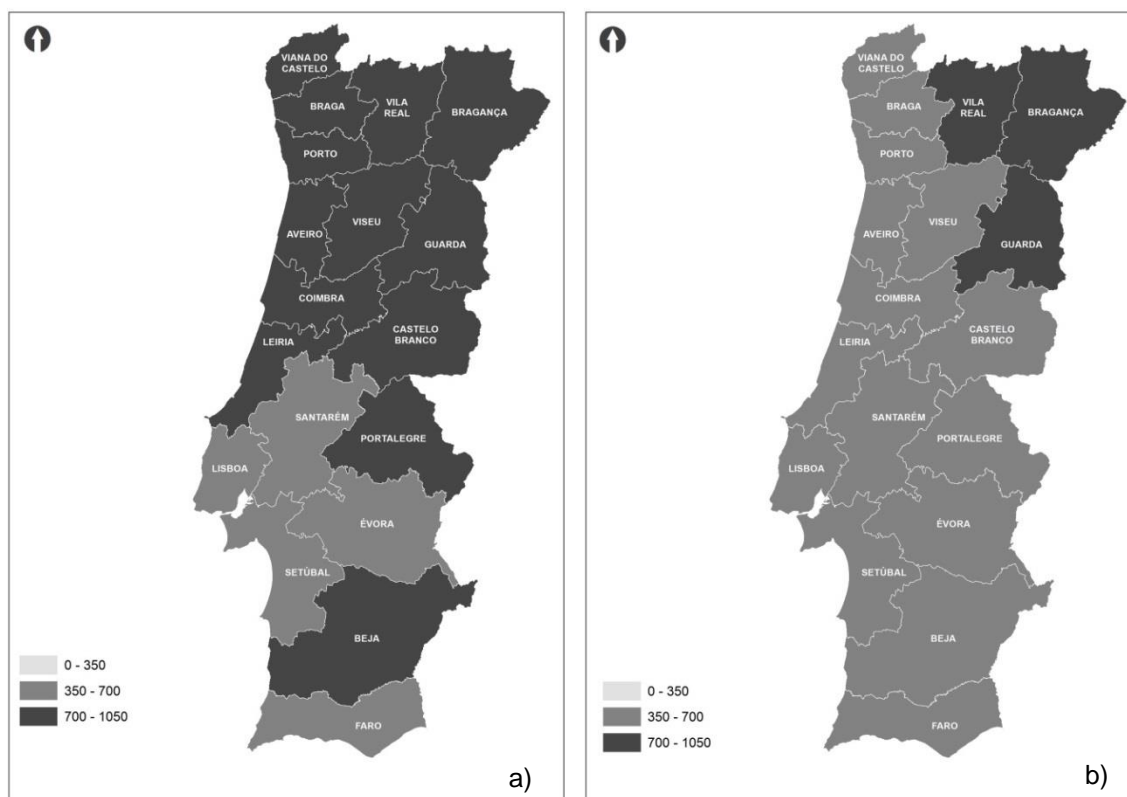


Fig. 35 – Mapas de risco para a solução com papel de parede em vinil como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

## 4.2.3. SUBSTRATO DE CATEGORIA II

Para o substrato de categoria II utilizou-se um reboco à base de cal e um reboco à base de gesso. Os dados dos materiais tidos em conta para representar esta categoria apresentam-se na tabela 10.

Tabela 10 – Dados dos materiais representantes do substrato de categoria II

Substrato categoria II		
	Reboco à base de cal	Reboco à base de gesso
Densidade aparente [ $Kg/m^3$ ]	1900	850
Porosidade [ $m^3/m^3$ ]	0,24	0,65
Calor específico, seco [ $J/KgK$ ]	850	850
Condutibilidade térmica, seco [ $W/mK$ ]	0,8	0,2
Fator de resistência à difusão de vapor de água [-]	19	8,3
Cond. térmica complementar dependente da humidade	8	8
Cond. térmica complementar dependente da temperatura	0,0002	0,0002
Valor típico da humidade de construção [ $Kg/m^3$ ]	210	400
Espessura da camada [ $m$ ]	0,015	0,015

## 4.2.3.1. Reboco à base de cal

Para a solução que tem como revestimento interior um reboco à base de cal verificou-se um crescimento de fungos mais elevado para o distrito da Guarda e menor para o distrito de Faro, tanto na solução construtiva com isolamento térmico como sem isolamento térmico. As soluções construtivas apresentam-se na figura 36.

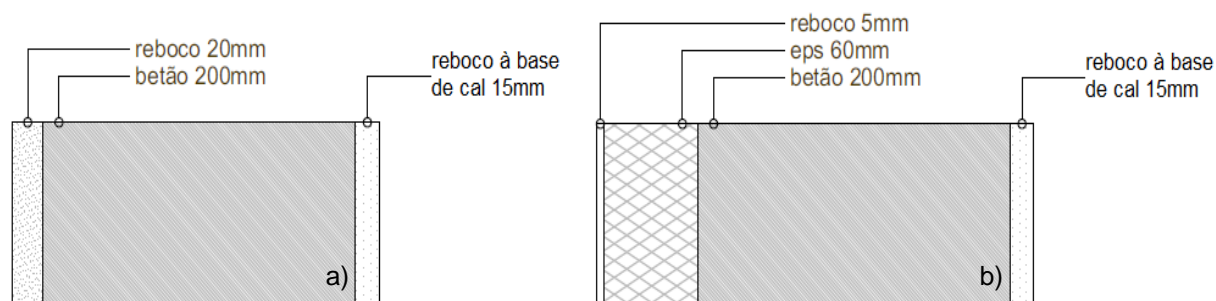


Figura 36 – Soluções construtivas com reboco à base de cal como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Os mapas de risco que se seguem avaliam o risco do desenvolvimento de fungos para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental para soluções que possuem como revestimento interior reboco à base de cal (figura 37).

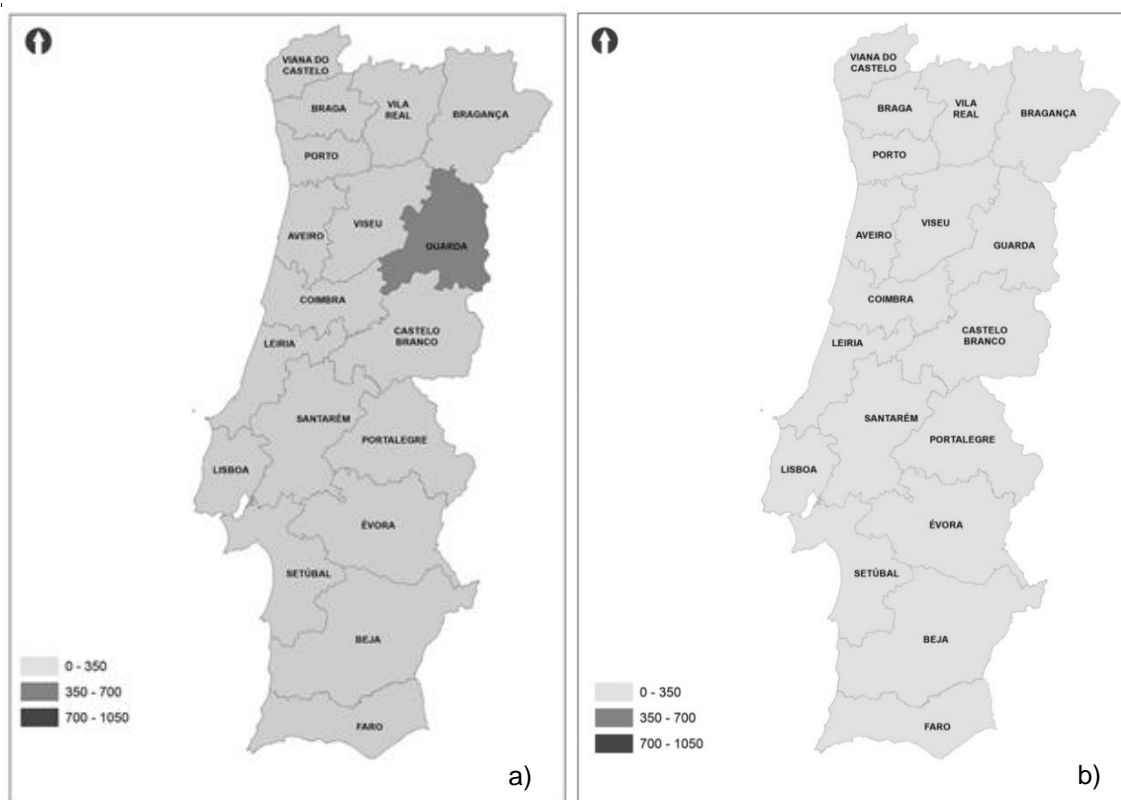


Figura 37 – Mapas de risco para a solução com reboco à base de cal como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

#### 4.2.3.2. Reboco à base de gesso

Para a solução que tem como revestimento interior reboco à base de gesso, verificou-se um crescimento de fungos mais elevado para o distrito da Guarda e menor para o distrito de Faro, tanto na solução construtiva com isolamento térmico como sem isolamento térmico. As soluções construtivas apresentam-se na figura 38.

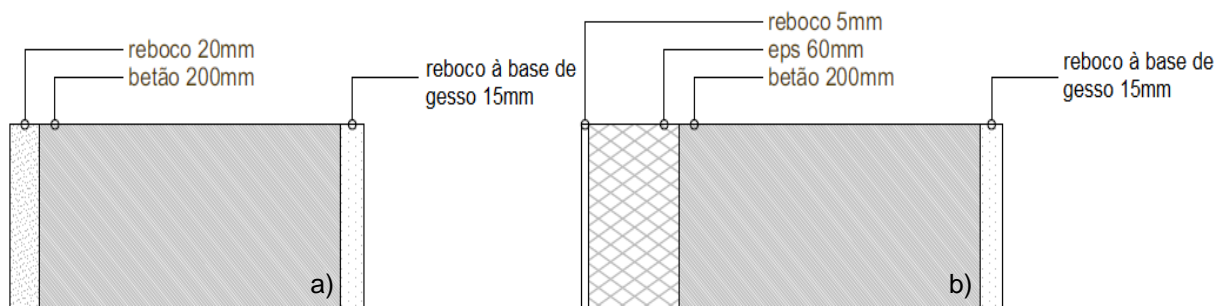


Fig. 38 – Soluções construtivas com reboco à base de gesso como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

Os mapas de risco que se seguem avaliam o risco do desenvolvimento de fungos para as dezoito capitais de distrito de Portugal Continental para soluções que possuem como revestimento interior reboco à base de gesso (figura 39).

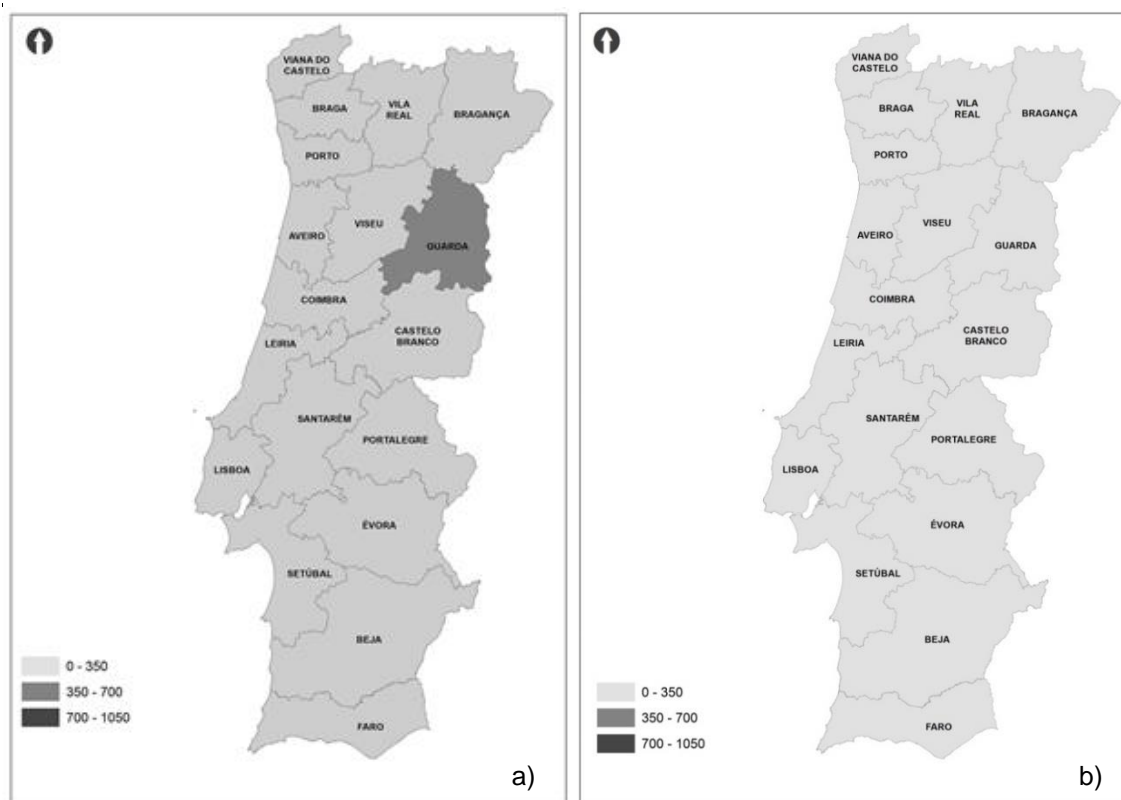


Fig. 39 – Mapas de risco para a solução com reboco à base de gesso como revestimento interior. (a) Solução construtiva sem isolamento térmico. (b) Solução construtiva com isolamento térmico

#### 4.3. CAPITALS DE DISTRITO COM MAIOR E MENOR GRAU DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

Na presente análise verifica-se que as capitais de distrito com maior e menor risco desenvolvimento de fungos se mantiveram, independentemente da capital de distrito em causa e da solução construtiva adotada. Refere-se então a Guarda e Faro com maior e menor risco de desenvolvimento de fungos, respetivamente.

Deste modo, no presente subcapítulo, faz-se uma análise mais pormenorizada relativamente a estas capitais de distrito.

No que diz respeito à temperatura e humidade relativa exteriores verifica-se que em Faro a temperatura é sempre superior à temperatura da Guarda, sendo que as maiores diferenças se verificam para os meses em que as temperaturas atingem os valores mais baixos. Quanto à humidade relativa verifica-se que, no geral, na Guarda é inferior a Faro, exceto nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, ou seja, nos meses em que a temperatura atinge o valor mais baixo para ambas as capitais de distrito. Ambos os indicadores são possíveis de analisar na figura 40.

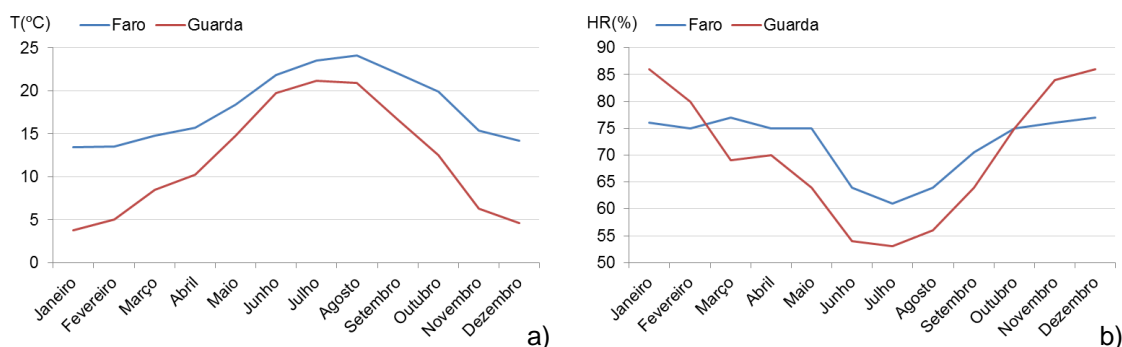


Fig. 40 – Parâmetros exteriores para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura exterior. (b) Humidade relativa exterior

A precipitação que se verifica para a Guarda toma valores muito superiores à de Faro. Quanto à radiação solar verificam-se diferenças muito pouco significativas no decorrer do ano, verificando-se, no entanto, que a radiação para Faro é ligeiramente superior à da Guarda no decorrer do ano (exceto em Julho e Setembro). A temperatura e a radiação solar relativas às capitais de distrito em análise apresentam-se na figura 41.

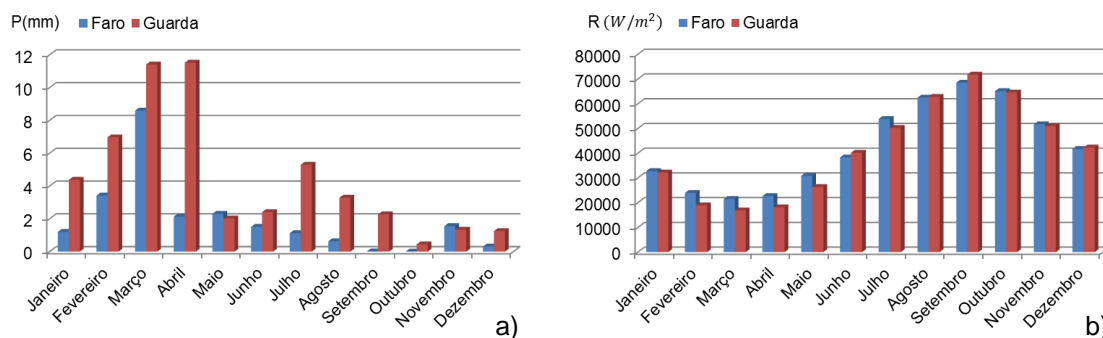


Fig. 41 – Parâmetros exteriores para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Precipitação. (b) Radiação solar

No que diz respeito às condições interiores, avaliou-se (comparou-se) a temperatura e humidade relativa para cada um dos revestimentos pertencentes ao substrato de categoria I e categoria II, com e sem isolamento. É relevante referir a importância da existência de isolamento térmico nas soluções. A sua presença reduz a temperatura e humidade relativa interiores, assim como diminui as flutuações no decorrer do ano. As figuras que se seguem representam a temperatura e humidade relativa da superfície interior das soluções com e sem isolamento para os revestimentos interiores em análise.

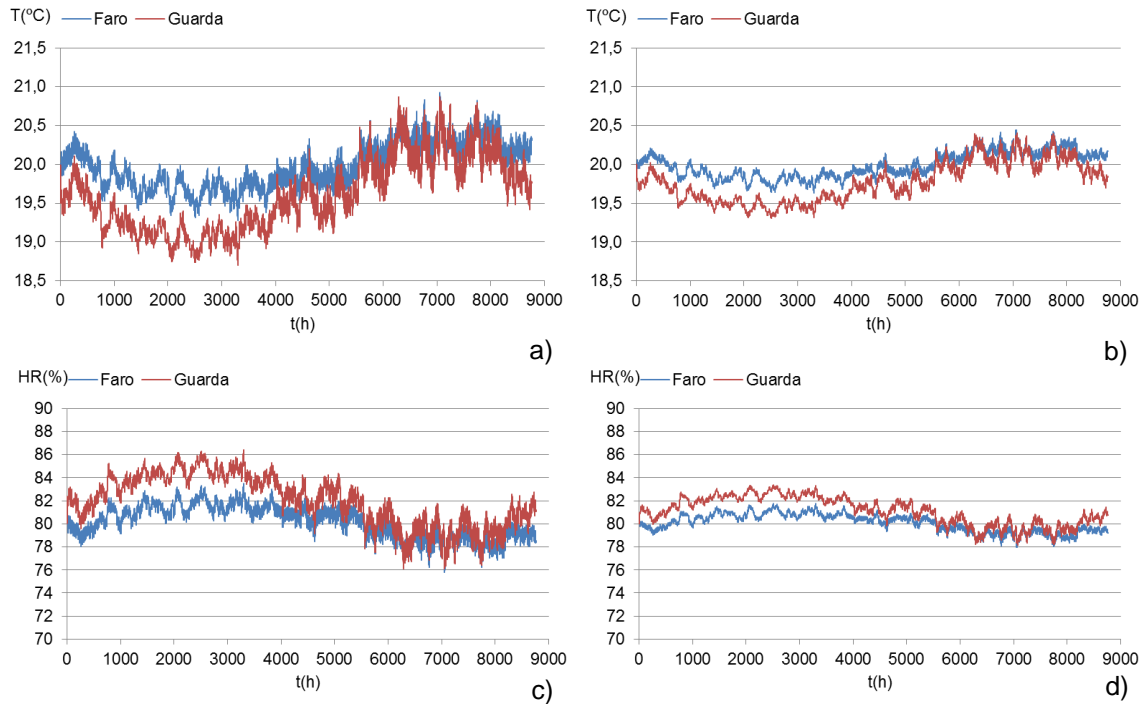


Fig. 42 – Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em placa de gesso cartonado para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura superficial para a solução com isolamento térmico. (b) Temperatura superficial para a solução sem isolamento térmico. (c) Humidade relativa superficial para a solução com isolamento térmico. (d) Humidade relativa superficial para a solução sem isolamento térmico

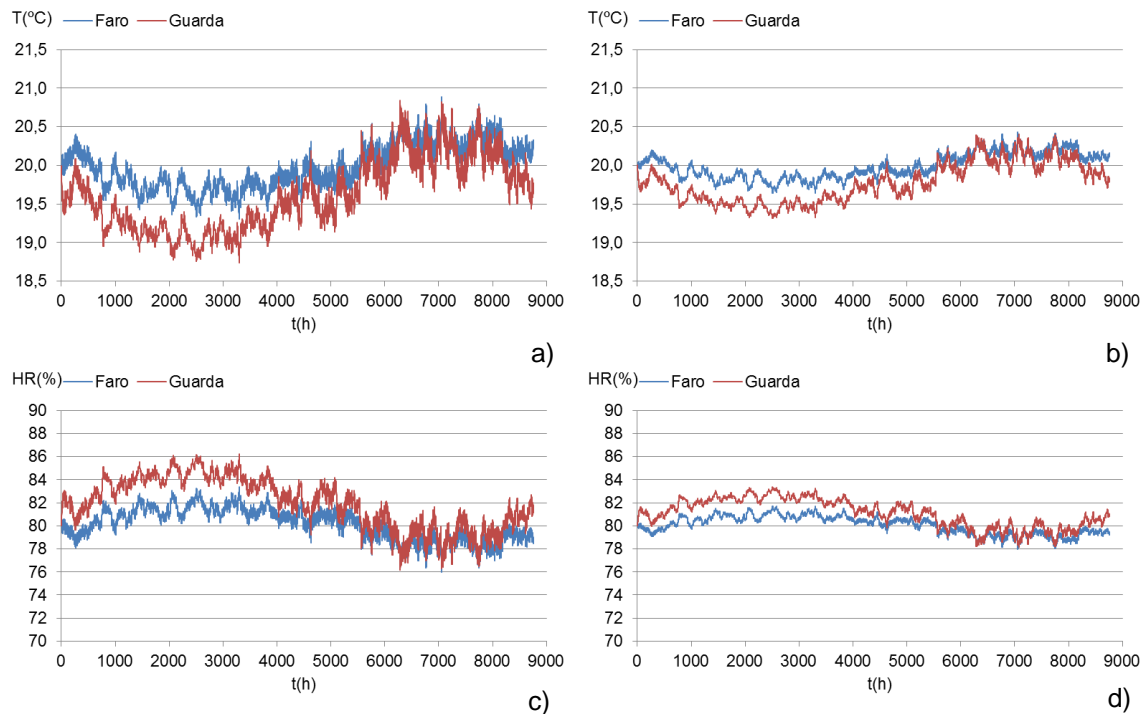


Fig. 43 – Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em painel de fibra de madeira (MDF) para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura superficial para a solução com isolamento térmico. (b) Temperatura superficial para a solução sem isolamento térmico. (c) Humidade relativa superficial para a solução com isolamento térmico. (d) Humidade relativa superficial para a solução sem isolamento térmico



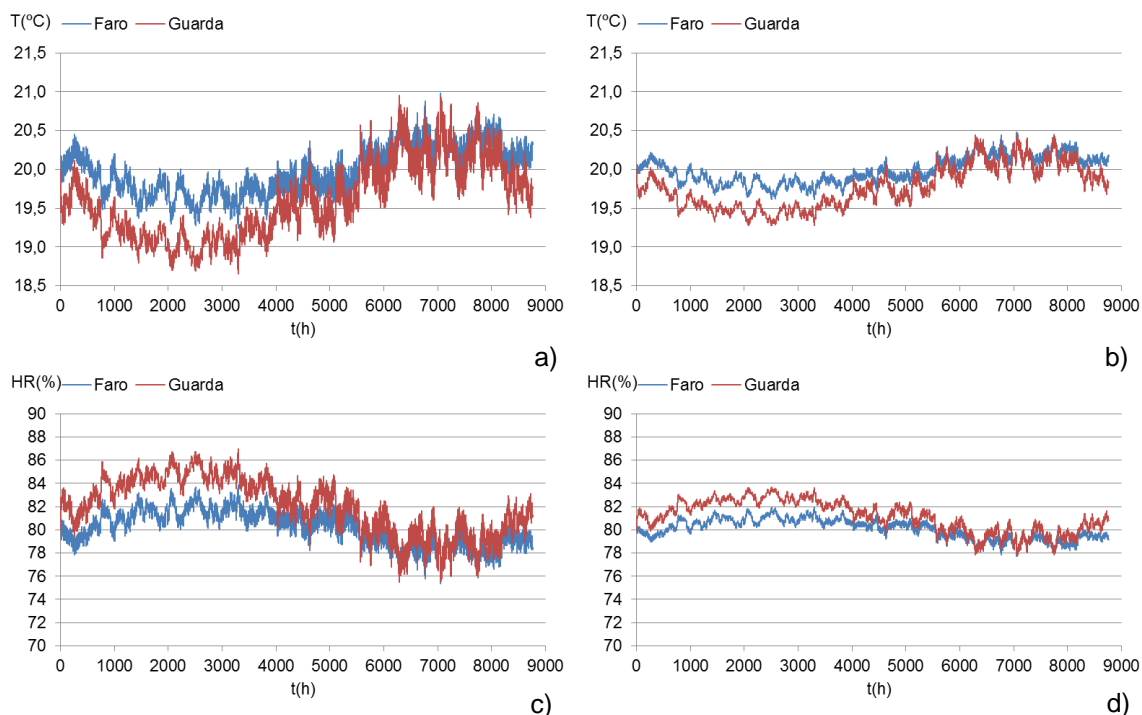


Fig. 44 – Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em papel de parede em vinil para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura superficial para a solução com isolamento térmico. (b) Temperatura superficial para a solução sem isolamento térmico. (c) Humidade relativa superficial para a solução com isolamento térmico. (d) Humidade relativa superficial para a solução sem isolamento térmico

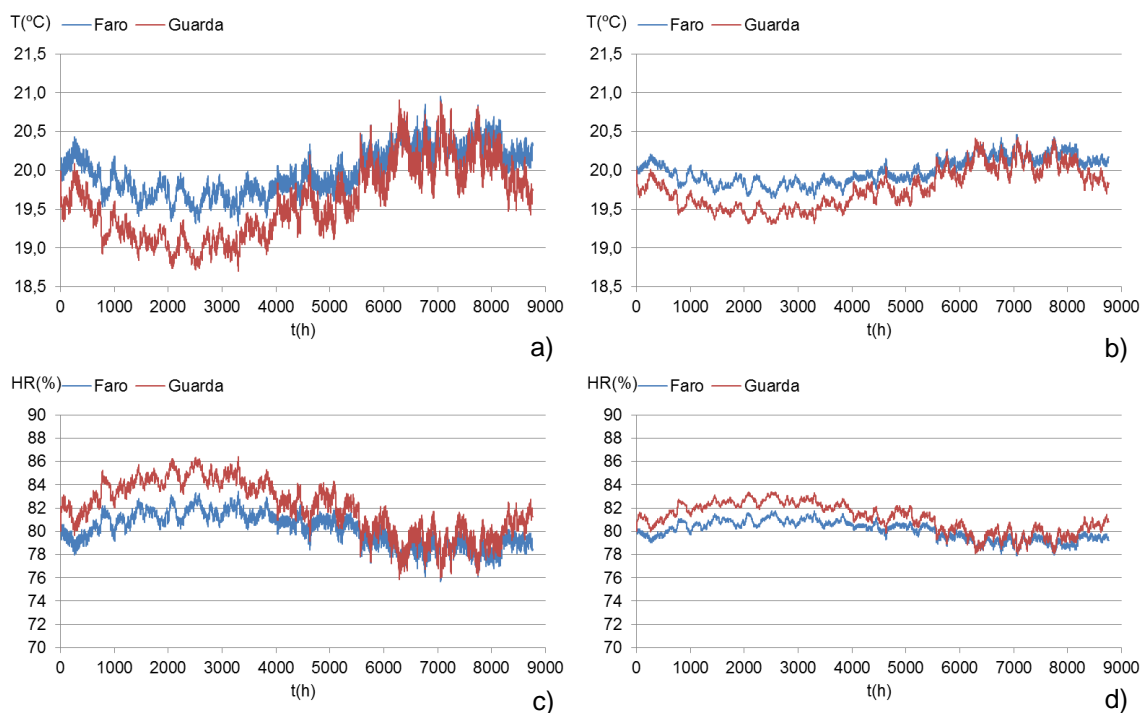


Fig. 45 – Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em reboco à base de cal para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura superficial para a solução com isolamento térmico. (b) Temperatura superficial para a solução sem isolamento térmico. (c) Humidade relativa superficial para a solução com isolamento térmico. (d) Humidade relativa superficial para a solução sem isolamento térmico



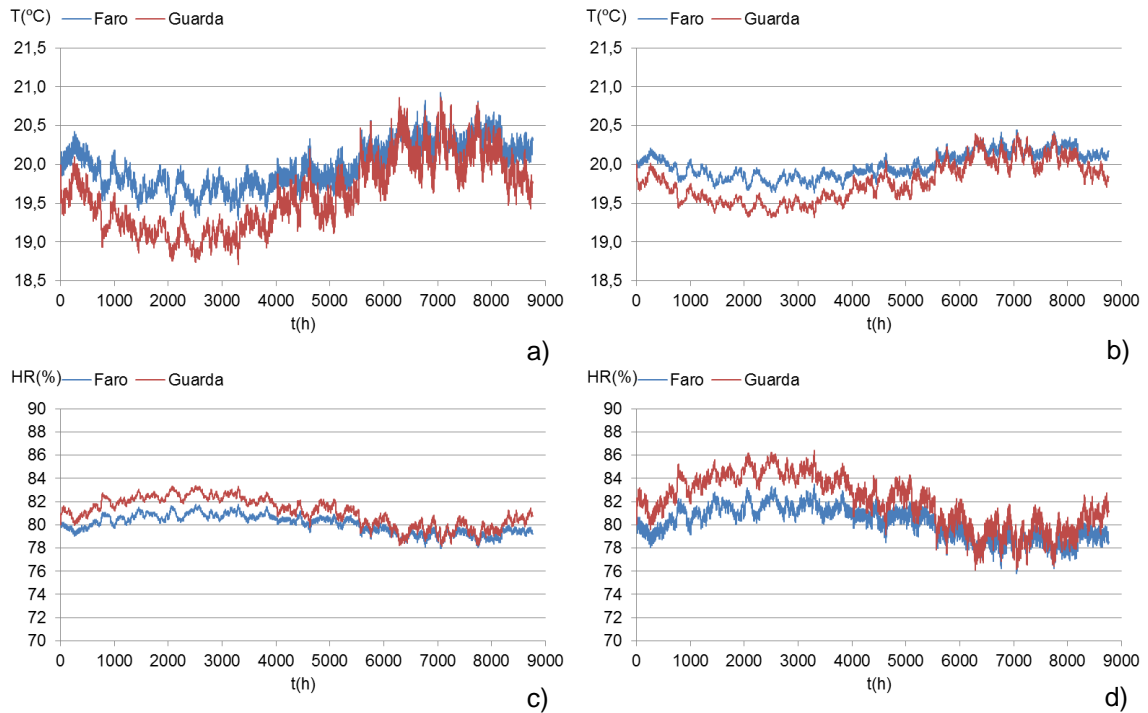


Fig. 46 – Parâmetros superficiais interiores para revestimento interior em reboco à base de gesso para os distritos de Faro e da Guarda. (a) Temperatura superficial para a solução com isolamento térmico. (b) Temperatura superficial para a solução sem isolamento térmico. (c) Humidade relativa superficial para a solução com isolamento térmico. (d) Humidade relativa superficial para a solução sem isolamento térmico

As figuras que se seguem descrevem o crescimento de fungos para as cinco soluções construtivas, com e sem isolamento térmico, para um período de três anos (26.280 horas), para os distritos da Guarda e Faro.

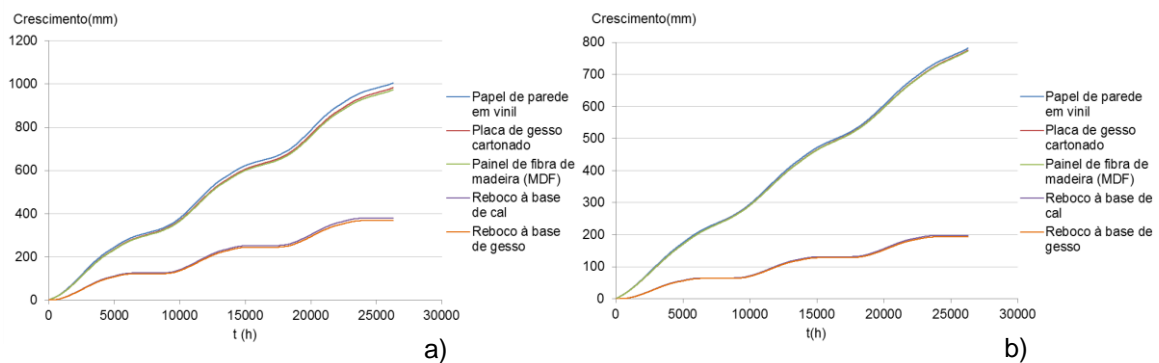


Fig. 47 – Crescimento de fungos para o distrito da Guarda. (a) Soluções construtivas sem isolamento térmico. (b) Soluções construtivas com isolamento térmico

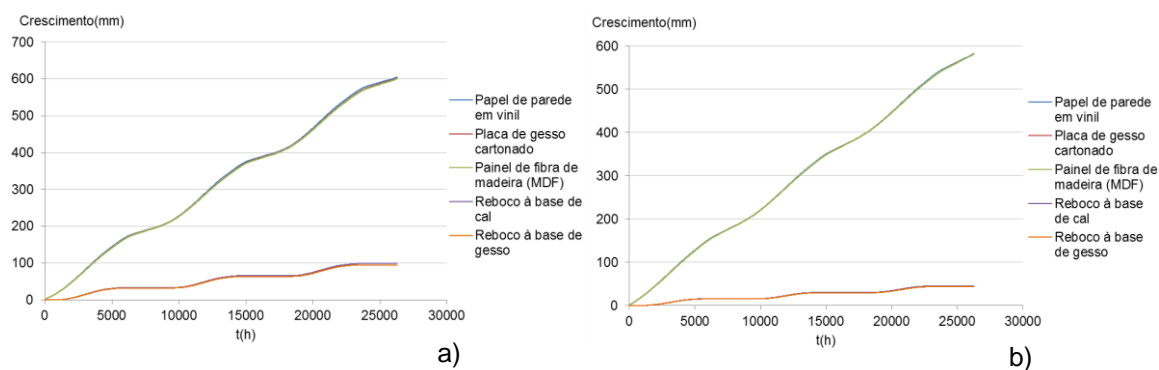


Fig. 48 – Crescimento de fungos para o distrito de Faro. (a) Soluções construtivas sem isolamento térmico. (b) Soluções construtivas com isolamento térmico

Através das Figuras 47 e 48 verifica-se que o crescimento de fungos nas soluções construtivas sem isolamento térmico é muito superior ao verificado nas soluções com isolamento, para ambas as capitais de distrito em análise.

Verifica-se, também, que as linhas representantes do crescimento de fungos têm um desenvolvimento semelhante para soluções construtivas que possuem revestimentos interiores pertencentes à mesma categoria de substrato, ou seja, o papel de parede em vinil, a placa de gesso cartonado e o painel de fibra de madeira têm um desenvolvimento semelhante (substrato de categoria I) para as duas capitais de distrito. O mesmo acontece com o crescimento de fungos para as soluções com revestimentos interiores em reboco à base de cal e reboco à base de gesso, ambos pertencentes ao substrato de categoria II.

Nas Figura 49 é possível comparar o crescimento de fungos, em valor absoluto (mm), para os cinco revestimentos em análise, com e sem isolamento térmico, para os distritos da Guarda e Faro. O intervalo de tempo definido para as simulações é de três anos, 26.280 horas.

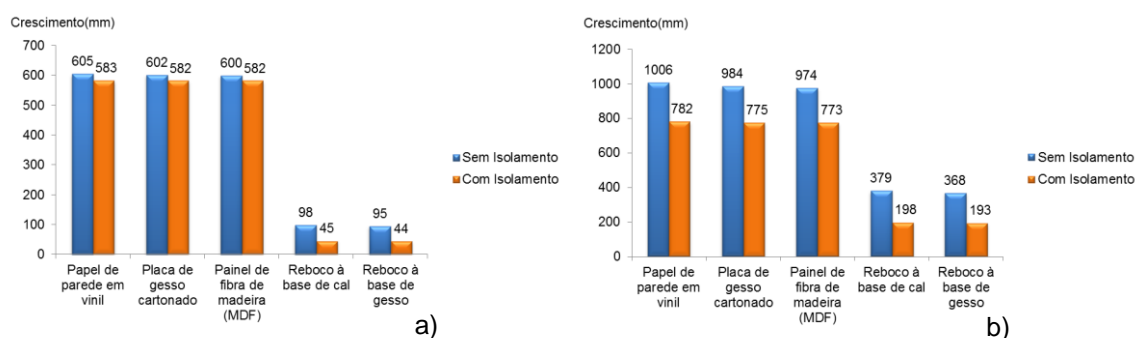


Fig. 49 – Crescimento de fungos (mm). (a) Distrito de Faro. (b) Distrito da Guarda

É possível concluir que, independentemente da capital de distrito em análise, os materiais utilizados para o revestimento interior nos quais se verifica um maior desenvolvimento de fungos se mantém (papel de parede em vinil), assim como os materiais nos quais se verifica um menor desenvolvimento (reboco à base de gesso). Verifica-se, também, que para climas mais desfavoráveis (no que diz respeito à temperatura, humidade relativa e precipitação) o efeito do isolamento térmico é mais relevante quando se comparam soluções construtivas com isolamento térmico e sem isolamento térmico, ou seja, a diferença de crescimento de fungos é maior entre soluções com e sem isolamento, tal como se verifica na Guarda.

# 5

## CONCLUSÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tal como foi referido anteriormente, a previsão do risco de desenvolvimento de bolors em edifícios é importante para garantir um ambiente saudável e evitar danos sociais e económicos. Deste modo, no presente trabalho, analisou-se quais os parâmetros que mais influenciam o desenvolvimento de fungos, obtendo-se as conclusões que se seguem.

Após as simulações realizadas na análise de sensibilidade é possível concluir que:

- O valor do teor de humidade crítico aumenta à medida que aumenta a categoria de substrato dos materiais utilizados;
- Apenas se verifica o desenvolvimento do crescimento de fungos quando o teor de humidade nos esporos é superior ao teor de humidade crítico;
- A temperatura é responsável pelo valor assumido pelo teor de humidade crítico. O aumento de temperatura provoca a descida do valor do teor de humidade crítico, e vice-versa;
- A humidade relativa é responsável pelo valor assumido pelo teor de humidade nos esporos. A redução da humidade relativa provoca a descida do valor do teor de humidade nos esporos, e vice-versa;
- Não se verifica qualquer crescimento de fungos para temperaturas iguais ou inferiores a 10 °C, nem para humidades relativas iguais ou inferiores a 60% (tal como está descrito no estado de arte);

Após a análise das cinco soluções construtivas para as diversas capitais de distrito de Portugal Continental é possível concluir que:

- O papel de parede é o material utilizado como revestimento interior para o qual se verifica maior desenvolvimento de fungos, para os materiais pertencentes ao substrato de categoria I. O reboco em cimento é o material utilizado como revestimento interior para o qual se verifica maior desenvolvimento de fungos, para os materiais pertencentes ao substrato de categoria II.
- O desenvolvimento de fungos em materiais pertencentes ao substrato de categoria I é muito superior ao verificado nos materiais pertencentes ao substrato de categoria II.
- Independentemente do substrato atribuído ao material, a redução do crescimento de fungos na presença de isolamento térmico é o mesmo (em valor absoluto) para materiais de ambos os substratos.
- A presença de isolamento térmico (EPS) nas soluções construtivas adotadas provoca uma ligeira descida da temperatura (~ 0,5 °C) e humidade relativa (~ 2 %) superficiais interiores, quando comparadas com soluções construtivas sem isolamento térmico.

Provoca, também, uma redução significativa das flutuações verificadas no decorrer do tempo, tanto para a temperatura como para a humidade relativa superficiais interiores;

- O parâmetro que mais influencia o desenvolvimento do crescimento de fungos é a categoria de substrato atribuída ao material utilizado como revestimento interior, sendo este um fator mais relevante do que as próprias características do material;
- Os materiais definidos como revestimento interior pertencentes à mesma categoria de substrato apresentam crescimentos acumulados e desenvolvimento no decorrer do tempo aproximados;
- Para climas mais desfavoráveis (no que diz respeito à temperatura e humidade relativa) o efeito do isolamento térmico é mais relevante, ou seja, a diferença de crescimento de fungos é maior entre soluções com e sem isolamento. Para climas mais amenos essa diferença tende a reduzir.
- Os parâmetros que mais influenciam o desenvolvimento de fungos, em termos de localização geográfica, são a temperatura e humidade relativa exteriores.
- Estes resultados foram obtidos para condições interiores específicas de 20°C e 80%. Na prática, considerando condições variáveis ao longo do tempo, outros resultados mais graves poderiam ser obtidos.

## **5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para complementar o trabalho realizado seria necessário:

- Avaliar o efeito dos fungos de uma classe perigosa k (“Substrato de categoria k”, tal como está definido no programa WUFI-Bio);
- Realizar novas previsões de desenvolvimento de fungos em edifícios em regime variável (temperatura e humidade relativa interiores), já que as consideradas na presente análise possuem valores constantes, o que não se verifica na realidade;
- Enfatizar a comparação entre os diversos modelos de previsão de fungos existentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe K. *Comparison of computed measured fungal index in field*. Proc Healthy Buildings 2006;II.
- Abe K, Nagao Y, Nakada T, Sakuma S. *Assessment of indoor climate in an apartment by use of a fungal index*. Appl Environ Microbiol 1996;62(3): 959-63.
- Adan O. *On the fungal defacement of interior finishes*. Doctoral Thesis, The Netherlands; 1994.
- Grant, C.; Hunter, C. A.; Flannigan, B.; Bravery, A. F.: *The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings*. International Biodeterioration 25, (1989), p. 259 - 284.
- Hocking, A. D.: *Responses of xerophilic fungi to changes in water activity*. Jennings, D. H. (Hrsg.): *Stress tolerance of fungi*. Marcel Dekker Inc., New York (1993).
- Hukka A, Viitanen HA. *A mathematical model for mould growth on wooden material*. Wood Sci Technol 1999;33:475-85.
- IEA-Annex 14. *Condensation and energy*. Acco, Leuven: Source Book; 1990.
- Johansson S, Wadsö L, Sandin K. *Estimation of mould growth levels on rendered façades on surface relative humidity and surface temperature measurements*. Build Environ 2010; 45:1153-60.
- Ojanen T, Peuhkuri R, Viitanen H, Lähdesmäki K, Vinha J, Salminen K. *Classification of material sensitivity e new approach for mould growth modeling*. In: 9th Nordic symposium on building physics, vol. 2; 2011. 867-874.
- Reiß, J.: *Schimmelpilze – Nutzen, Schaden, Bekämpfung*. 2. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg (1988).
- Rubel, G. O.: *A non-intrusive method for the measurement of water vapour sorption by bacterial spores*. Journal of Applied Microbiology 83, (1997), p. 243 - 247.
- Sedlbauer, K. (2001). *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*.
- Smith, S. L.; Hill, S. T.: *Influence of temperature and water activity on germination and growth of Aspergillus restrictus and Aspergillus versicolor*. Transactions of the British Mycological Society Vol. 79 (1982), H. 3, p. 558 - 560.
- SPENGLER, J., *Biological agents and the home environment*, Proceeding of the Bugs, Mold and Rot I Workshop, E.U.A, 1991.
- Viitanen H, Vinha J, Salminen K, Ojanen T, Peuhkuri R, Paajanen L, et al. *Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures*. J Build Phys 2010;33(3):201e23.

